INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

Estação Móvel para Medida da Qualidade do Ar

Vasco Daniel Ferreira Carvalho

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Electrotécnica e Computadores

Júri

Presidente: Prof. José Gerald

Orientador: Prof. Francisco Alegria

Vogais: Prof. Moisés Piedade

Abril 2008

Agradecimentos

Esta dissertação não é só o culminar de um longo trabalho, mas também o culminar de uma importante etapa nesta longa caminhada que é a vida. Durante todo este percurso há uma imensidão de pessoas às quais estou eternamente grato. Contudo, teço desde já as minhas desculpas para alguém que não esteja nesta dedicatória, mas que certamente é igualmente importante.

Ao professor Francisco Alegria, pela preciosa ajuda no desenrolar de todo o trabalho, sempre com alguma dica muito preciosa nos momentos de indecisão.

Ao professor Moisés Piedade pela ajuda em algumas matérias abordadas na tese.

A todos os meus colegas do laboratório que sempre ajudaram da melhor forma possível.

Um agradecimento especial ao meu colega Tiago Belo Antunes que sempre se mostrou disponível para me auxiliar em todos os momentos desta tese.

Às minhas amigas Inês e Cátia do Carmo sempre disponíveis para me auxiliarem quando solicitava.

À Marli, Manuel e Agostinho que com uma enorme simpatia sempre se disponibilizaram para ajudar no que podiam.

Um obrigado muito especial aos meus pais pela ajuda e compreensão que mostraram em todos os momentos desta longa caminhada.

À minha irmã, sempre com uma palavra carinhosa nos momentos mais difíceis.

Resumo

O presente trabalho consiste no desenho e construção de um sistema móvel de monitorização da qualidade do ar. O sistema é constituído por diferentes módulos que podem ser, por exemplo, acoplados a autocarros ou táxis que circulam durante o dia pela cidade de modo a obter um mapa da qualidade do ar em toda a sua extensão. Cada módulo de monitorização possui diversos sensores para medida da concentração de diferentes gases, um sensor de posição (GPS) para localização da posição do módulo e comunicação por GSM (GPRS) para transmissão dos resultados da medida para uma estação central (servidor). Cada módulo é auto-suficiente em termos energéticos, pois são alimentados por baterias carregadas por um painel solar. O servidor apresenta os resultados em tempo real de forma numérica ou gráfica sobreposta a um mapa da cidade indicando, com diferentes cores, a concentração dos diferentes gases medidos (CO, NO_2, O_3, SO_2, CO_2).

Palavras-chave

Sistema de monitorização, Qualidade do ar, Sensores, GPRS, GPS e microcontrolador.

Abstract

The present work consists on the development and construction of a mobile system to monitor the quality of air. The system is constituted by different modules, that can be, for example, connected to a bus or taxis that travels during the day in the city in order to acquire a map of the quality of air. Each module have diverse sensors for measure the concentration of different gases, a sensor of position (GPS) to locate the module, and a communication module GSM (GPRS) to transmit the data to a central station (server). Each module is self-sufficient in energy terms because are fed by batteries that are loaded by a solar panel. The server presents the results in real time in numerical or graphical form, overlapped to a map of the city indicating, with different colours, the concentration of each measured gas (CO, NO_2, O_3, SO_2, CO_2).

Key-Words

Monitoring system, Quality of Air, Sensors, GPRS, GPS and microcontroller.

Indices

AGRADECIMENTOS ..... **III**

RESUMO ..... **V**

PALAVRAS-CHAVE ..... **V**

ABSTRACT ..... **V**

KEY-WORDS ..... **V**

INDICES ..... **VII**

LISTA DE FIGURAS ..... **X**

LISTA DE TABELAS ..... **XII**

1. INTRODUÇÃO **1**

1.1. MOTIVAÇÃO E OBJECTIVOS 1

1.2. ENQUADRAMENTO 2

2. ATMOSFERA **3**

2.1. POLUIÇÃO DO AR E FONTES POLUIDORAS 5

2.2. CONSEQUÊNCIAS DA POLUIÇÃO 6

2.2.1. Efeito de Estufa *6*

2.2.2. Acidificação – Chuvas Ácidas *6*

2.2.3. Redução da Camada de Ozono *7*

2.3. ORIGEM E CONSEQUÊNCIAS DE CADA POLUENTE 9

2.3.1. Dióxido de Carbono (CO_2) *9*

2.3.2. Dióxido de Enxofre (SO_2) *9*

2.3.3. Monóxido de Carbono (CO) *9*

2.3.4. Dióxido de Azoto (NO_2) *10*

2.3.5. Ozono (O_3) *10*

2.3.6. Partículas em Suspensão (PM_{10}) *10*

2.4. MEDIDAS LEGISLATIVAS 11

3. CONSTITUIÇÃO DA ESTAÇÃO – HARDWARE **13**

3.1. PRINCIPIO GERAL DE FUNCIONAMENTO DA ESTAÇÃO MÓVEL 13

3.2. UNIDADE DE CONTROLO DA ESTAÇÃO 15

3.2.1. Microcontrolador Programável *15*

3.2.2. Escolha do Microcontrolador *16*

3.3. MEDIÇÃO DA TEMPERATURA 17

3.3.1. Características do sensor de temperatura *17*

3.3.2. Princípio de Funcionamento *18*
3.3.3. Esquema de ligação *19*
3.3.4. Custo e método de aquisição *19*
3.4. MEDIÇÃO DOS POLUENTES – SENSORES 20
3.4.1. Sensor de Dióxido de Carbono *20*
3.4.2. Sensor de CO, NO_2, SO_2, O_3 ..... *28*
3.5. SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS – MÓDULO GSM/GPRS 41
3.5.1. Breve introdução ao GPRS e suas utilidades *41*
3.5.2. Serviço de Internet utilizado *43*
3.5.3. Escolha do Módulo de GSM/GPRS *45*
3.5.4. Problemas e Soluções *45*
3.5.5. Custo e método de aquisição do Terminal GSM/GPRS *46*
3.5.6. Esquema de Ligação *46*
3.6. SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO – MÓDULO GPS 47
3.6.1. Breve introdução ao GPS *47*
3.6.2. Escolha do Receptor de GPS *48*
3.6.3. Principio de funcionamento *49*
3.6.4. Custo e método de aquisição do Receptor de GPS *50*
3.6.5. Esquema de ligação *50*
3.7. MEMÓRIA ADICIONAL 51
3.7.1. Características da memória *51*
3.7.2. Princípio de funcionamento *51*
3.7.3. Esquema de ligação da memória ao microcontrolador *52*
3.8. SENSOR DE MOVIMENTO 53
3.8.1. Principio de funcionamento *53*
3.8.2. Escolha do sensor de movimento *53*
3.8.3. Esquema de ligação do sensor de movimento ao microcontrolador *54*
3.8.4. Custo e método de aquisição *54*
3.9. ALIMENTAÇÃO 55
3.9.1. Painéis Fotovoltaicos *55*
3.9.2. Regulador de Carga *62*
3.9.3. Bateria *64*
3.9.4. Tensões Utilizadas *66*
3.10. ESQUEMÁTICO DE LIGAÇÃO DOS MÓDULOS 70
4. SOFTWARE 71
4.1. ESTAÇÃO 72
4.1.1. Principio de funcionamento *72*
4.1.2. Tratamento dos Dados Obtidos *74*
4.1.3. Envio de dados – HTTP e Método POST *75*
4.1.4. Problemas e Soluções *76*

4.2. SERVIDOR 78
4.2.1. Equipamento e Software *78*
4.2.2. Armazenamento dos Dados *79*
4.2.3. Visualização dos Dados *80*
5. LIGAÇÃO DOS COMPONENTES 83
5.1. FASE DE TESTE 83
5.2. FASE FINAL 84
6. CONSTRUÇÃO DA BASE DE SUPORTE EXTERIOR 87
7. CONSUMO DE POTÊNCIA ELÉCTRICA 89
8. RESULTADOS EXPERIMENTAIS 91
9. CUSTO TOTAL DA ESTAÇÃO 93
10. LIMITAÇÕES E MELHORIAS 95
10.1. LIMITAÇÕES 95
10.2. MELHORIAS 95
11. CONCLUSÃO 97
12. REFERÊNCIAS 99
13. ANEXOS 101
ANEXO I – TERMINAL GSM/GPRS – SIEMENS TC65 103
ANEXO II – GPS GARMIN 15H 105
ANEXO III – ESQUEMÁTICO DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO DESENVOLVIDA 107
ANEXO IV – *LAYOUT* DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO DESENVOLVIDA, BOTTOM LAYER 109
ANEXO V – *LAYOUT* DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO DESENVOLVIDA, TOP LAYER 111
ANEXO VI – *PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO EM FASE DE CONSTRUÇÃO* 113
ANEXO VII – RESULTADOS EXPERIMENTAIS, PERCURSO EM BENFICA 115
ANEXO VIII – RESULTADOS EXPERIMENTAIS, PERCURSO EM BENFICA 119
ANEXO IX – MANUAL DE INSTRUÇÕES 121

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Imagem exemplificativa das fontes dos vários poluentes [9]. 5
Figura 2.2 – Emissão de Clorofluorcarbonetos [15] 8
Figura 3.1 – Diagrama com os componentes do sistema 13
Figura 3.2 – Ilustração dos módulos de um microcontrolador 15
Figura 3.3 – Exemplo genérico do tipo de sensor utilizado [22] 17
Figura 3.4 – Díodo bipolar 18
Figura 3.5 – Esquema de ligação do sensor de temperatura 19
Figura 3.6 – Característica do sensor de Dioxido de Carbono 21
Figura 3.7 – Corte Transversal do TGS4160 e detalhe do sensor 23
Figura 3.8 – Condicionamento de sinal necessário ao funcionamento do sensor TGS4169 .. 25
Figura 3.9 – Condicionamento de sinal para o sensor de CO_2 da Alphasense 25
Figura 3.10 – Esquema de um Amplificador de Instrumentação 26
Figura 3.11 – Exemplo genérico de um sensor amperimétrico(a) e esquemático (b) 28
Figura 3.12 – Esquemático do condicionamento de sinal para o sensor [8 30
Figura 3.13 – Esquemático do conversor de corrente para tensão 31
Figura 3.14 – Curva real com os dados do fabricante e respectiva interpolação 34
Figura 3.15 – Curva real com os dados do fabricante e respectiva interpolação 36
Figura 3.16 – Curva real com os dados do fabricante e respectiva interpolação 38
Figura 3.17 – Curva real com os dados do fabricante e respectiva interpolação 40
Figura 3.18 – Exemplo de um pedido utilizando HTTP 43
Figura 3.19 – Exemplo de um cabeçalho. 44
Figura 3.20 – Resposta de um Servidor 44
Figura 3.21 – Esquema de ligação do terminal GSM/GPRS ao microcontrolador 46
Figura 3.22 – Esquema de ligações entre o módulo de GPS e o microcontrolador 50
Figura 3.23 – Ciclo de escrita de um byte na memória [17] 52
Figura 3.24 – Ciclo de leitura de um byte da memória [17] 52
Figura 3.25 – Esquema de ligação da EEPROM 52
Figura 3.26 – Desenho do sensor de movimento utilizado no projecto e esquemático de ligação 53
Figura 3.27 – Esquema de ligação do sensor ao microcontrolador 54
Figura 3.28 – Exemplo de um Sistema Fotovoltaico 55
Figura 3.29 – a) Constituição interna de uma célula fotovoltaica típica, b) Pormenor da constituição das grelhas metálicas. [2] 57
Figura 3.30 – Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica alimentando a carga Z. 57
Figura 3.31 – Característica de potência de um painel fotovoltaico genérico [2] 59
Figura 3.32 – Radiação média mensal em Lisboa (inclinação=latitude) [2] 61
Figura 3.33 – Vários tipos de Reguladores solares e respectivos esquemáticos [13]. 63
Figura 3.34 – Esquemático do regulador de tensão utilizado no projecto, Solsum 5.0 [11].... 63

Figura 3.35 – Fases de Carregamento de uma bateria 66
Figura 3.36 – Exemplo de regulador linear [18] 67
Figura 3.37 – Esquema de um conversor *Buck, Step Down* e respectivos sinais [18]. 68
Figura 3.38 – Esquemático de ligação dos vários módulos 70
Figura 4.1 – Fluxograma de funcionamento da estação 72
Figura 4.2 – Formato de uma trama de dados 74
Figura 4.3 – Formato da primeira trama de dados 74
Figura 4.4 – Exemplo de cabeçalho e corpo da mensagem 75
Figura 4.5 – Imagem do ambiente do programa Packetyzer 76
Figura 4.6 – Base de teste e exemplo de montagem 77
Figura 4.7 – Descrição da tabela "dados" utilizada no presente projecto. 79
Figura 4.8 – Exemplo de ligação da página de internet à base de dados 79
Figura 4.9 – Exemplo de inserção de dados na base de dados 79
Figura 4.10 – Excerto do site desenvolvido para o projecto 80
Figura 4.11 – Excerto da página da Internet, com as várias amostras e sua localização 81
Figura 5.1 – Base de montagem utilizada no desenvolvimento do projecto 83
Figura 5.2 – Placa desenvolvida com discriminação dos componentes 84
Figura 5.3 – Estação aberta com todos componentes ligados 85
Figura 5.4 – Pormenor de todos os componentes 86
Figura 6.1 – Acção do ar e água sobre a estação 87
Figura 6.2 – Parte inferior da estação onde se observam os *imanes* de fixação 88
Figura 6.3 – Exemplo de montagem da estação 88

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Composição média do ar “puro” [1]. 3
Tabela 2.2 – Factores de conversão de mg/m3 para PPM de alguns gases [1] 4
Tabela 2.3 – Níveis de concentrações de cada poluente e índice da qualidade do Ar [9] 11
Tabela 3.1 – Características de vários Microcontroladores [16]. 16
Tabela 3.2 – Características do sensor de Dióxido de Carbono [19] 21
Tabela 3.3 – Características do sensor de Monóxido de Carbono [19] 33
Tabela 3.4 – Características do sensor de Dióxido de Enxofre [19] 35
Tabela 3.5 – Características do sensor de Dióxido de Azoto [19] 37
Tabela 3.6 – Características do sensor de Ozono [19] 39
Tabela 3.7 – Modelo TCP/IP e Modelo OSI 42
Tabela 3.8 – Características do Receptor de GPS 49
Tabela 3.9 – Características da memória utilizada 51
Tabela 3.10 – Rendimento eléctrico de vários tipos de células [12] 56
Tabela 3.11 – Características dos painéis fotovoltaicos (STC) 60
Tabela 3.12 – Características do Regulador Solar, Solsum 5.0 [11] 64
Tabela 7.1 – Consumo instantâneo discriminado de cada componente 89
Tabela 8.1 – Concentração de cada Poluente na zona de Benfica, Portugal 91
Tabela 9.1 – Custo discriminado de cada componente 93

1. Introdução

1.1. Motivação e Objectivos

Com a grande mediatização em torno do aquecimento global e das constantes descargas de gases poluentes efectuadas pelo homem, tornou-se preponderante saber, de forma exacta e fácil o estado da qualidade do ar que respiramos diariamente. Mais ainda, quando se sabe que a poluição atmosférica nos humanos, afecta essencialmente o sistema respiratório, podendo agravar ou até provocar doenças de crónicas, como a asma, bronquite crónica, infecções nos pulmões, cancro do pulmão, entre outros. Com a evolução da medicina e dos inúmeros estudos efectuados, a população em geral está cada vez mais e melhor informada destes malefícios, como tal, a preocupação com o ar que respiramos aumenta, assim como a curiosidade e vontade de saber as piores e melhores zonas para se passear, viver, etc.

Aqueles que contribuem de forma sistemática e considerável para o aumento da concentração de gases na atmosfera, tais como, empresas de transportes públicos, de camionagem, etc., devem ser as primeiras a tomar medidas de monitorização das suas emissões de modo a tomar medidas correctivas.

A construção de jardins em zonas mais poluídas, o desvio de rotas rodoviárias e uma gestão mais séria do parque arquitectónico e industrial de uma cidade podem ser algumas soluções.

Contudo, para se poder tomar acções concretas são necessários dados obtidos em tempo real e de forma rigorosa. Para tal é preciso ter um sistema de monitorização extenso, capaz de cobrir largas zonas e não apenas um ponto específico de uma localidade, onde os dados recolhidos não podem ser generalizados.

Um sistema móvel de monitorização da qualidade do ar, facilmente integrável numa frota de transportes públicos, poderá representar um primeiro passo no sentido do objectivo indicado anteriormente.

1.2. Enquadramento

À data deste trabalho os principais sistemas de medida de gases resumem-se a estações fixas em determinados locais, onde a informação é transmitida, à partida, através de rede física para uma central. Os dispositivos móveis existentes no mercado, apesar de terem capacidade de medida de vários parâmetros, obrigam a que os dados sejam recolhidos por um técnico, não permitindo por isso, grande versatilidade.

Esta tese descreve um sistema móvel autónomo, capaz de monitorizar vários parâmetros que determinam a qualidade do ar.

Neste projecto apenas foi construído uma estação, sendo portanto um ponto de partida para a realização de outras estações e a concretização de um sistema mais completo, podendo deste modo apresentar um mapa da qualidade do ar numa cidade, em toda a sua extensão.

Os dados recolhidos pelas estações são disponibilizados num sítio na Internet, onde podem ser facilmente acedidos por uma instituição ou qualquer utilizador.

O próximo capítulo aborda de forma genérica, a constituição da atmosfera e estuda a composição do ar, as fontes poluidoras e consequências dessa poluição. Analisa-se ainda cada gás poluente e a sua contribuição directa para a poluição. Por fim, são referidas as principais normas de emissão e licenciamento dos agentes emissores de gases poluentes

No terceiro capítulo começa-se por apresentar um princípio geral de funcionamento do sistema móvel de monitorização, de agora em diante denominado estação móvel, onde o leitor pode compreender os principais módulos utilizados e sua função. Estuda-se também, de forma mais aprofundada, os vários blocos que constituem a estação, passando pela unidade programada de controlo, sensores e módulos de GSM/GPRS (*Global System for Mobile Communications*/*General Packet Radio Service*) e GPS (do acrónimo do inglês *Global Positioning System*). É ainda apresentado o módulo de alimentação.

O quarto capítulo é dedicado à análise dos algoritmos considerados no desenvolvimento do *software* para a estação móvel e para o servidor de Internet. A visualização dos dados e a interacção com o utilizador são também referidos.

O quinto capítulo apresenta os modos de ligação dos vários constituintes, nomeadamente na fase de teste e na fase final.

O sexto capítulo refere o modo de construção da base exterior.

No sétimo capítulo faz-se uma análise do consumo eléctrico da estação, sendo apresentado valores descriminados para cada componente.

No Oitavo capítulo apresentam-se os resultados experimentais e faz-se uma comparação com valores obtidos por entidades oficiais.

No nono capítulo descrevem-se todos os custos associados ao desenvolvimento da estação

No décimo capítulo são citadas as principais limitações e possíveis melhorias que podem ser adoptadas futuramente, para o aperfeiçoamento da estação móvel.

Por fim, na conclusão, são apresentadas algumas reflexões acerca do trabalho desenvolvido.

2. Atmosfera

De um modo geral pode-se definir atmosfera como “uma película gasosa muito fina, onde ocorrem todos os fenómenos meteorológicos que condicionam a nossa existência. Povoada por uma grande diversidade de moléculas, desempenha ao mesmo tempo um papel protector e regulador” [3]. O nosso planeta possui atmosfera porque retém as moléculas gasosas através da gravitação; os corpos celestes com uma massa menor são desprovidos de atmosfera.

A maioria dos autores refere que a atmosfera se divide em cinco camadas. No entanto, há outros autores que dividem a atmosfera em apenas quatro camadas. Segundo [3] a sua divisão é feita em função do seu comportamento térmico, sendo a troposfera a primeira camada, que se encontra entre os 9 e os 17 km a partir da superfície. É nela que sucedem os principais fenómenos meteorológicos. A camada seguinte é a Estratosfera onde se verifica um aumento da temperatura, já que ao absorver os raios ultravioletas, a camada de ozono que aí se encontra aquece-a (a aproximadamente 50 km de altitude a temperatura ronda os 0 ºC). Seguidamente encontra-se a Mesosfera, onde a temperatura volta a descer, até atingir -90 ºC a cerca de 80 km de altitude. A camada que lhe sucede é a Termosfera a cerca de 190 km do solo. A quinta camada é a Exosfera, que também designada por Ionosfera, uma vez que aí a radiação solar é muito ionizante, originando fenómenos luminosos.

A composição química da atmosfera é dominada pelo Azoto (78,084 %) e pelo Oxigénio (20,946%) que totalizam quase 99 % da sua massa seca. Diversos gases partilham o 1 % restante, nomeadamente o Dióxido de Carbono e os gases raros como o Árgon, Néon e o Krípton. O Hidrogénio, o Hélio, o Metano, o Ozono e centenas de outras moléculas de origem humana ou natural são outros gases que igualmente partilham este 1 %. Na baixa atmosfera ainda se encontra inúmeras poeiras e partículas.

Tabela 2.1 – Composição média do ar “puro” [1].

Nome	Formula	Proporção
Azoto	N_2	78,084 %
Oxigénio	O_2	20,946 %
Árgon	Ar	0,934 %
Dióxido de Carbono	CO_2	340 PPM
Néon	Ne	18,18 PPM
Hélio	He	5,24 PPM
Metano	CH_4	1,5 PPM
Kripton	Kr	1,14 PPM
Hidrogénio	H	0,50 PPM
Oxido Nitroso	N_2O	0,40 PPM
Xénon	Xe	0,09 PPM

Há essencialmente duas unidades de concentração utilizadas em química atmosférica: PPM (partes por milhão), tal como utilizado na Tabela 2.1, e miligramas por metro cúbico (mg/m^3) ou micro gramas por metro cúbico ($\mu g/m^3$).

Estas duas unidades são facilmente relacionáveis, nomeadamente através de:

$$\frac{X[PPM]}{Y[mg/m^3]} = \frac{24{,}45}{Peso\,Molecular} \tag{2.1}$$

A Tabela 2.2 apresenta o resultado da relação traduzida por (2.1) para alguns gases.

Tabela 2.2 – Factores de conversão de mg/m3 para PPM de alguns gases [1]

Gás	Factor de conversão [PPM·m3/mg]
Hidrogénio	**89**
Hélio	**178**
Metano	**712**
Dióxido de Azoto	**2050**
Dióxido de Enxofre	**2860**
Sulfureto de Hidrogénio	**1520**
Amoníaco	**760**
Oxido Nitroso	**1960**
Ozono	**2140**
Monóxido de Carbono	**1259**
Dióxido de Carbono	

2.1. Poluição do Ar e Fontes Poluidoras

A poluição do ar pode ter diversas definições. Segundo [1], “A poluição do ar significa a presença nas atmosferas exteriores de um ou mais contaminantes, ou a sua combinação em quantidades ou com uma duração tal que possam vir a ser considerados nocivos para a vida humana, vegetal, animal ou bens. Os contaminantes do ar incluem fumos, vapores, cinzas de papel, poeiras, fuligem, fumos carbonosos, gases, névoas, material radioactivo ou produtos químicos tóxicos.”

A poluição está directa ou indirectamente relacionada com a actividade humana. As actividades industriais são uma das principais causas da poluição atmosférica, seguida dos meios de transporte e do aquecimento doméstico a partir de combustíveis. É referido por [3] que, no final de 1998, circulavam no mundo 524 milhões veículos ligeiros e 189 milhões camiões. Um veículo automóvel com motor de combustão interna, emite cerca de 200 g de gás carbónico e, consoante o motor, entre 0,2 e 3,4 g de Óxido de Azoto por quilómetro.

Por outro lado, certos poluentes atmosféricos reagem entre si, gerando outros poluentes, chamados de “poluentes secundários”. Assim a dissociação por efeito do Sol, de compostos orgânicos voláteis, de Monóxido de Carbono e de Óxido de Azoto, produzidos pelos motores dos veículos automóveis, levam à formação de Ozono, principalmente no Verão, quando as temperaturas são mais elevadas.

È expectável que, durante o século XXI, a taxa de poluição atmosférica continue a aumentar, dado o crescimento demográfico e a industrialização verificados nas últimas décadas.

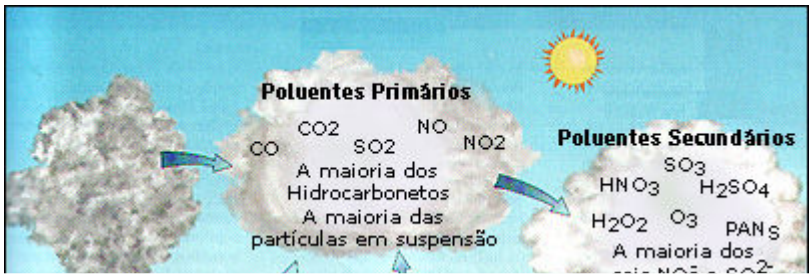


Figura 2.1 – Imagem exemplificativa das fontes dos vários poluentes [9].

2.2. Consequências da Poluição

2.2.1. Efeito de Estufa

Os gases naturais existentes na atmosfera formam uma cobertura capaz de reter a radiação solar, mantendo o calor junto à superfície terrestre. Assim, a atmosfera aquece, funcionando como uma estufa. Este fenómeno natural permite que a Terra se mantenha a uma temperatura aproximada de 16 ºC na superfície. Sem este fenómeno a temperatura média do planeta seria de -15 ºC, tornando insustentável a vida na Terra tal como a conhecemos. Porém, o Homem tem feito acentuar esse efeito de estufa, causando um aumento gradual da temperatura.

Os gases responsáveis pelo efeito de estufa são principalmente o Dióxido de Carbono, vapor de água, o Metano, entre outros. Como refere [1], estes gases deixam passar as radiações solares quase sem obstáculos, mas absorvem alguma da radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra que irradiam, em parte, de novo ao planeta. Como resultado, a superfície recebe quase o dobro de energia da atmosfera do que a que recebe do Sol e a superfície fica cerca de 30 ºC mais quente do que estaria sem a presença dos gases «de estufa».

Como referem vários cientistas, prevê-se que até 2030 a temperatura do nosso planeta suba entre 2 ºC a 5 ºC.

Os cientistas apontam o degelo dos glaciares, como uma das principais consequências. O nível do mar subirá, a manter-se as previsões, entre 25 a 95 cm, provocado o desaparecimento total ou parcial de certas ilhas, e consequentes alterações na área costeira.

2.2.2. Acidificação – Chuvas Ácidas

Segundo [3], a ocorrência de chuva ácida foi primeiro relatada em Manchester, na Inglaterra. Em 1852, Robert Angus Smith identificou a correlação entre a chuva ácida e a poluição atmosférica. A expressão chuva ácida foi por ele empregue em 1872. Observou que essa chuva ácida podia levar à destruição da natureza. Embora a chuva ácida tenha sido descoberta desde 1852, não foi senão em 1970 que os cientistas começaram, de facto, a estudá-la com maior acuidade. Este fenómeno deve-se, principalmente, à presença de Dióxido de Enxofre em excesso na atmosfera, que juntamente com o Óxido de Azoto, causam de um dos mais preocupantes fenómenos da segunda metade do século XX. Devido à utilização desmesurada de combustíveis fósseis, encontram-se em excesso na atmosfera terrestre o Óxido de Enxofre e o Azoto. Estes gases, por acção da luz solar, combinam-se com o Oxigénio e a humidade do ar, dando origem ao ácido nítrico e ao ácido sulfúrico. Assim, quando chove, a água arrasta consigo estes ácidos, transportando-os até aos solos e rios, provocando uma diminuição do seu PH.

Esta acidificação tem consequências bastantes graves na fauna e na flora, levando mesmo à morte de alguns animais e plantas. Mesmo o ser humano pode ser afectado, revelando-se, principalmente, ao nível de sintomas respiratórios. Outro efeito preocupante das chuvas ácidas é a corrosão dos edifícios e de alguns monumentos históricos.

2.2.3. Redução da Camada de Ozono

A camada de Ozono é um componente natural da alta atmosfera. Esta camada é fundamental porque protege a vida na Terra das radiações solares mais nocivas. O Ozono forma-se sobretudo entre os 20 e 30 km de altitude, onde as radiações solares dissociam a parte das moléculas de Oxigénio gasoso em átomos que reagem com outras moléculas de Oxigénio para formar o Ozono. Instável, este reage de novo com o Oxigénio presente no meio. A camada de Ozono resulta do equilíbrio destas reacções.

Segundo [3] foi em 1985 que se descobriu um “buraco”, ou seja, uma redução significativa da espessura da camada de Ozono por cima do Antárctico. Durante o Inverno polar, forma-se um turbilhão de ar na Estratosfera que isola a atmosfera antárctica do resto do hemisfério sul. A temperatura da Estratosfera pode descer até aos -85 ºC, o que leva á formação de nuvens de gelo. Essas nuvens polares fixam o Cloro presente na Estratosfera em forma de ácido clorídrico e de nitrato de Cloro. Na Primavera austral, quando regressa o Sol, a sua radiação provoca a dissociação do Cloro por reacção fotoquímica. Inicia-se uma reacção em cadeia. Cada átomo de Cloro libertado pode destruir até cem mil moléculas de Ozono, o que reduz a espessura da camada de Ozono. Relativamente ao Pólo Norte, ainda não se fala em buraco na camada de Ozono, mas desde 1991 que se verifica já défices localizados deste gás.

Como refere [3], uma das principais causas da destruição da camada de Ozono deveu-se a uma causa natural, nomeadamente à emissão de gases sulfurados libertados pelas erupções vulcânicas. Mas, na década de 80, os cientistas denunciaram o perigo representado pelas emissões industriais de Cloro. Os clorofluorcarbonetos, vulgarmente designados por CFC, utilizados como gases propulsores de aerossóis, agentes de refrigeração ou para a expansão de algumas espumas rígidas, constituem a causa principal da destruição da camada de Ozono.

Contudo, a aplicação de algumas normas a nível mundial fez com que se diminuísse essa emissão de CFCs, tal como se representa na Figura 2.2.

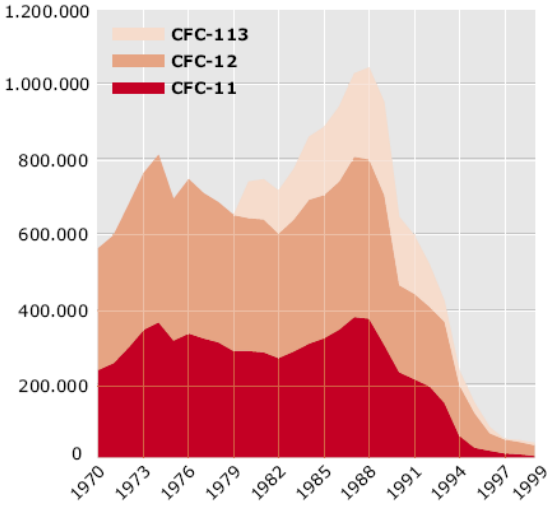


Figura 2.2 – Emissão de Clorofluorcarbonetos [15]

Todos esses compostos do CFC, extremamente estáveis, podem permanecer na atmosfera entre cinquenta e cem anos. Propagam-se até aos Pólos e libertam os seus átomos de Cloro ou de Bromo, que destroem o Ozono.

Em quantidades muito pequenas, as radiações UV são úteis à vida. No entanto, a exposição prolongada e sem protecção à radiação UV causa anomalias nos seres vivos, podendo levar ao aparecimento de cancro da pele, deformações, atrofia e cegueira (cataratas), assim como à diminuição das defesas imunológicas, favorecendo o aparecimento de doenças infecciosas que, em casos extremos, podem levar à morte. A radiação UV excessiva pode também diminuir a taxa de crescimento de plantas e aumentar a degradação de plásticos, assim como aumentar a produção de Ozono troposférico e afectar ecossistemas terrestres e aquáticos, alterando o crescimento, as cadeias alimentares e os ciclos bioquímicos.

2.3. Origem e consequências de cada poluente

Como menciona [1] a comunidade Europeia tem vindo a dedicar particular atenção ao problema da concentração dos poluentes mais representativos, como o monóxido de Carbono (CO), o dióxido de Azoto (NO_2), o dióxido de Enxofre (SO_2), o Ozono (O_3) e as partículas (PM_{10}). O dióxido de Carbono (CO_2) apesar de não ser um poluente também se monitorizou, pois este gás tem uma grande importância na vida terrestre.

2.3.1. Dióxido de Carbono (CO_2)

O dióxido de Carbono é um gás essencial à vida no planeta, visto ser um dos compostos mais importantes na realização da fotossíntese. Este processo é realizado pelos organismos fotossintetizantes, que transformam a energia solar em energia química.

A concentração do dióxido de Carbono tem vindo a aumentar, devido essencialmente à queima de quantidades substanciais de combustíveis fósseis. Este aumento faz com que as plantas se desenvolvam mais rapidamente, o que à primeira vista não parece um factor prejudicial. Contudo, se for imaginado que também as plantas indesejadas crescem de modo célere, como ervas e outras plantas inconvenientes, e que as técnicas de controlo mais usadas actualmente recorrem ao uso de químicos nocivos à atmosfera, facilmente se compreende a dimensão do problema.

2.3.2. Dióxido de Enxofre (SO_2)

O dióxido de Enxofre (SO_2) é um gás incolor, detectável pelo odor típico e pelo sabor. Pode ser de origem primária, resultante essencialmente da queima de combustíveis fósseis e de diversos processos industriais. Pode ainda ser de origem natural, onde é resultado da actividade vulcânica.

Em altas concentrações pode provocar problemas no tracto respiratório, especialmente em grupos sensíveis, como os asmáticos. Contribui para o fenómeno das chuvas ácidas que têm, como consequência, a acidificação dos meios naturais e a corrosão de materiais metálicos.

2.3.3. Monóxido de Carbono (CO)

O monóxido de Carbono é também um gás incolor e inodoro. A sua origem deve-se principalmente ao tráfego automóvel e à produção industrial. A sua origem natural pode ser atribuído às erupções vulcânicas.

Os efeitos deste gás no ser humano manifestam-se, principalmente, ao nível do sistema cardiovascular e do sistema nervoso. Concentrações mais baixas são susceptíveis de gerar

problemas cardiovasculares em doentes coronários, inibindo a capacidade do sangue trocar oxigénio com os tecidos vitais. Pode, em concentrações extremas, provocar morte por envenenamento.

2.3.4. Dióxido de Azoto (NO_2)

O dióxido de Azoto é um gás acastanhado facilmente detectável pelo odor, muito corrosivo e um forte agente oxidante. Quando de origem humana, é essencialmente resultantes da queima de combustíveis a altas temperaturas, quer em instalações fixas, quer nos veículos automóveis. Em condições naturais, os óxidos de Azoto provêm de transformações microbianas nos solos e de descargas eléctricas na atmosfera. Na maior parte das situações, o NO (monóxido de Azoto) emitido para a atmosfera é posteriormente transformado em NO_2 por oxidação fotoquímica. Em concentrações elevadas, pode provocar problemas do foro respiratório, especialmente em crianças e em doentes asmáticos. Tal como o dióxido de Enxofre, é um poluente acidificante, e também responsável pelas chuvas ácidas, que acidificam meios naturais e atacam quimicamente algumas estruturas por processos corrosivos.

2.3.5. Ozono (O_3)

O Ozono é um gás incolor, bastante oxidante, que aparece nas camadas baixas da atmosfera (Troposfera), principalmente como resultado de reacções químicas envolvendo poluentes orgânicos, óxidos de Azoto e radiação solar sendo por isso denominado de poluente secundário. É responsável pelo chamado nevoeiro fotoquímico. É frequentemente, apontado como o principal responsável por perdas agrícolas e danos na vegetação, existindo espécies particularmente sensíveis ao seu efeito. Na saúde humana, pode provocar dificuldades respiratórias.

2.3.6. Partículas em Suspensão (PM_{10})

As Partículas em suspensão são material sólido ou pequenas gotículas de fumo, poeiras e vapor condensado no ar. Provêem principalmente do sector industrial obras de construção civil e processos agrícolas.

É um dos principais poluentes em termos de efeitos na saúde humana, particularmente as partículas de menor dimensão que são inaláveis, penetrando no sistema respiratório, danificando-o. Podem ser responsáveis pela diminuição da troca gasosa em espécies vegetais.

2.4. Medidas Legislativas

Tendo em conta a preservação, melhoria e defesa da qualidade do ambiente, revelou-se necessário adoptar medidas legislativas para salvaguardar a qualidade do bem comum a todos: o ar. Nesse sentido, foi aprovado uma directiva, 96/62/CE, de 27 de Setembro de 1996, relativa à avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente. O objectivo geral da presente directiva, consiste em definir os princípios de base de uma estratégia comum, designadamente destinada a:

Estabelecer objectivos para a qualidade do ar ambiente na Comunidade, a fim de evitar, prevenir ou limitar os efeitos nocivos sobre a saúde humana e sobre o ambiente na sua globalidade,

Avaliar, com base em métodos e critérios comuns, a qualidade do ar ambiente nos Estados-membros,

Dispor de informações adequadas sobre a qualidade do ar ambiente e proceder de modo a que o público seja delas informado, designadamente através de limiares de alerta,

Manter a qualidade do ar ambiente, quando esta é boa, e melhorá-la nos outros casos.

Depois desta directiva vários Decretos-Lei foram emitidos. Estes documentos regulamentam desde as entidades competentes, passando por descrever as medidas adoptadas de modo a atingir os objectivos da politica da gestão da qualidade do ar, valores limites de emissão para as instalações industriais, valores guia e limite para cada um dos gases poluente, entre muitos outros aspectos.

Na portaria nº 286/93 de 12 de Março estão definidos os valores guia e limites de concentração de poluentes na atmosfera. Segundo estes dados e [9] foi possível construir um quadro de índices, representado Tabela 2.3, onde se qualifica a qualidade do ar, tendo em conta a concentração destes poluentes.

Tabela 2.3 – Níveis de concentrações de cada poluente e índice da qualidade do Ar [9]

Poluente em causa /	CO [µg/m3] [PPM]		NO_2 [µg/m3] [PPM]		O_3 [µg/m3] [PPM]		SO_2 [µg/m3] [PPM]	
Classificação	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Mau	10000 [8,7290]	-----	400 [0,213]	-----	240 [0,1223]	-----	500 [0,1908]	-----
Fraco	8500 [7,4197]	9999 [8,7281]	230 [0,122]	399 [0,212]	180 [0,0917]	239 [0,1218]	350 [0,1336]	499 [0,1906]
Médio	7000 [6,1103]	8499 [7,4188]	140 [0,074]	229 [0,122]	120 [0,0611]	179 [0,0912]	210 [0,0802]	349 [0,1332]
Bom	5000 [4,3645]	6999 [6,1094]	100 [0,053]	139 [0,074]	60 [0,0306]	119 [0,0606]	140 [0,0534]	209 [0,0798]
Muito Bom	0	4999 [4,3636]	0	99 [0,053]	0	59 [0,0301]	0	139 [0,0531]

3. Constituição da Estação – Hardware

3.1. Principio Geral de funcionamento da Estação Móvel

De modo a conceber um dispositivo móvel, autónomo, automático, capaz de medir as concentrações dos diversos gases poluente, foram utilizados vários módulos. Estes podem ser concebidos pelo projectista e outros adquiridos prontos a utilizar.

Genericamente a estação é constituída por:

Um módulo de controlo;

Um módulo de localização, GPS;

Um sistema móvel para envio de dados, terminal de GSM/GPRS;

Um sistema de alimentação, com base em tecnologia fotovoltaica

Sensor para cada poluente, temperatura e movimento, com respectivo condicionamento de sinal.

Memória para armazenamento temporário dos dados

Um esquema genérico da estação pode ser observado na Figura 3.1.

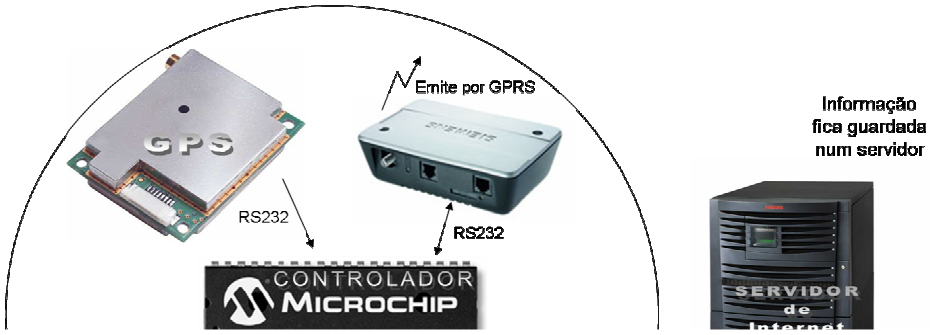


Figura 3.1 – Diagrama com os componentes do sistema

O armazenamento da informação obtida é feito numa base de dados de um servidor com ligação à Internet. A estação liga-se a este servidor através do módulo de GSM/GPRS, usando um serviço de Internet onde descarrega os dados.

Esta base de dados pode ser consultada utilizando uma página da Internet, também desenvolvida neste projecto. Neste sítio pode-se visualizar algumas informações genéricas sobre a estação, sobre limites de concentração dos vários gases e ainda ter acesso à base de dados de uma forma simples e interactiva. De facto, escolhendo uma data, o sistema mostra num mapa os vários pontos onde foram obtidas as amostras de ar. Consoante a cor destes pontos pode-se imediatamente constatar de forma qualitativa o estado do mesmo. A visualização de dados quantitativos, como a concentração específica de cada poluente, hora, data e temperatura do local, é feita “clicando” em cima desse ponto, abrindo-se uma janela com todas estas informações.

3.2. Unidade de controlo da estação

Com o objectivo de controlar todos os módulos intervenientes na estação, tais como a gestão de dados recolhidos dos sensores, o envio da informação para o servidor, a tomada de decisões relativas à operação do sistema, entre outras, utilizou-se um microcontrolador programável.

3.2.1. Microcontrolador Programável

Um microcontrolador é um circuito integrado programável, com o intuito de controlar os mais variados sistemas electrónicos. Pode-se entender este microcontrolador como um microprocessador com os mais variados periféricos, desde memórias (*flash, EEPROM*), conversor de sinal analógico para digital ADC (*Analog Digital Converter*), entradas e saídas digitais, temporizadores, entre outros.

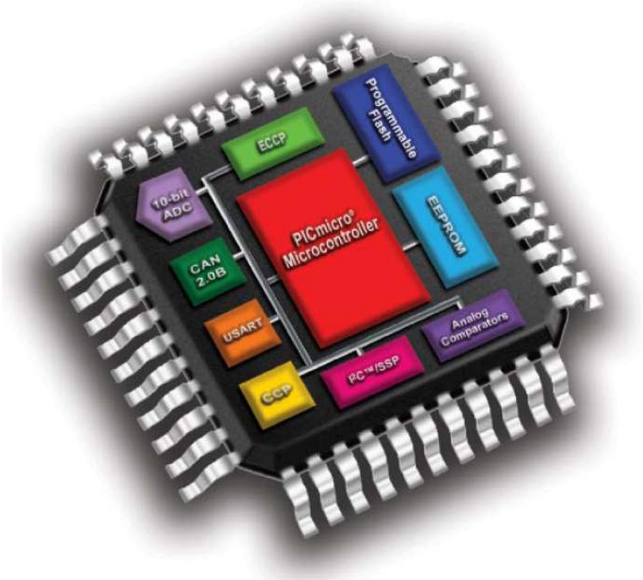


Figura 3.2 – Ilustração dos módulos de um microcontrolador

Há diversas empresas a produzir estes microcontroladores, sendo as mais conhecidas, a Microchip, Atmel, Texas Instruments, Philips Semicondutor e NEC.

3.2.2. Escolha do Microcontrolador

No projecto utilizou-se um microcontrolador da Microchip, um fabricante especializado neste tipo de dispositivos, essencialmente pelo facto de o autor estar familiarizado com os produtos desta marca.

Dentro dos produtos da Microchip há um vasto leque de microcontroladores, do qual se seleccionou uma determinada gama de acordo com alguns requisitos do sistema. Os factores mais importantes são a necessidade de duas interfaces RS232 para comunicação com o módulo de GSM/GPRS e o GPS, denominada, UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*), uma interface de SPI (*Serial Peripheric Interface*) para conexão a uma memória, e sete canais conversores de sinais analógicos para digitais para os diversos sensores.

A condição de obrigatoriedade de duas interfaces UART reduz o leque de escolha. Contudo, tal podia ser combatido com o recurso a uma única interface UART e multiplexagem. Ainda assim, esta técnica não foi necessária pois, apesar de ser um lote pequeno, existem modelos que satisfazem as necessidades. Na Tabela 3.1 apresentam-se as várias possibilidades com os parâmetros mais relevantes de cada um dos modelos.

Tabela 3.1 – Características de vários Microcontroladores [16].

Modelo	Preço	CPU Speed [MIPS[1]]	8 16 Bits	Program FLASH (Kbytes)	Data RAM (bytes)	I/O Ports	ADC 12-bit	UART	SPI	I2C	Pacote
PIC24FJ128GA006	$3.99	16	16	128	8192	54	0	2	2	2	64/TQFP
PIC24FJ64GA006	$3.33	16	16	64	8192	54	0	2	2	2	64/TQFP
PIC18F67J11	$3.50	-	8	128	3930	52	0	2	1	2	64/TQFP
dsPIC30F4013	$5.12	30	16	48	2048	30	13	2	1	1	40/PDIP 44/QFN 44/TQFP
dsPIC33 FJ256GP710	$7.66	40	16	256	30720	85	32	2	2	2	100/ TQFP

Observada a Tabela 3.1, a escolha recai sobre o dsPIC30F4013, essencialmente devido a dois aspectos: disponibilidade em pacote PDIP (*Plastic Dual Inline Package*), o que torna a fase de desenvolvimento e teste bastante facilitada, pois pode-se implementar o circuito numa *bread-board* e assim realizar os ensaios necessários; possibilidade de utilização do conversor analógico digital no modo de 12 Bits.

Note-se que, sendo o objectivo deste trabalho a concepção de um dispositivo portátil, seria natural que a escolha passasse também pelo estudo da potência consumida. Contudo, este elemento não foi tido em conta, pois o valor da potência não varia muito com o modelo, mas sim com a frequência utilizada.

[1] MIPS – Do acrónimo do ingles "*Millions of Instructions Per Second"*

3.3. Medição da Temperatura

Neste projecto o conhecimento da temperatura é essencial, não só para se poder disponibilizar essa informação, como também para corrigir os valores devolvidos pelos sensores devido à sua dependência com esta. Uma outra função dos sensores de temperatura é controlar a temperatura dentro da caixa. Com o auxílio de uma ventoinha e do sensor de temperatura no interior da caixa, é possível realizar essa função.

Há sensores de temperatura digitais, série e analógicos. Uma vez que se utilizam os ADCs para outras medições e dado que o microcontrolador apresenta ainda diversas portas deste tipo disponíveis, expandiu-se o mesmo critério aos sensores de temperatura, nomeadamente à utilização de um sensor analógico. Como tal, a escolha recaiu sobre um modelo analógico da Microchip.

3.3.1. Características do sensor de temperatura

Utilizou-se o sensor MCP9701A da Microchip, num pacote TO-92 como o apresentado na Figura 3.3. Este sensor devolve uma tensão proporcional à temperatura.

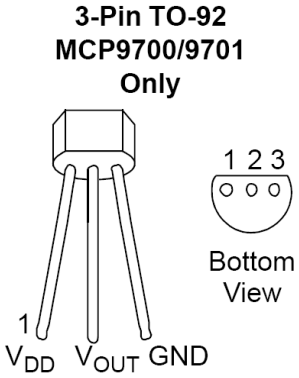


Figura 3.3 – Exemplo genérico do tipo de sensor utilizado [22]

O sensor utilizado tem uma exactidão de ±2 ºC garantida no seu intervalo máximo de funcionamento. Contudo, para a gama de temperaturas que se espera obter (entre os 0 e os 50 ºC), a exactidão melhora para 0,5 ºC. Funciona numa escala de temperatura desde os -40 ºC e os 125 ºC. O sensor apresenta, à sua saída, uma tensão de 400mV nos 0ºC e aumenta 19.53mV por cada ºC.

3.3.2. Princípio de Funcionamento

O sensor, designado Termistor Activo Linear, usa um díodo bipolar (Figura 3.4) interno para medir a temperatura. Monitorizando a tensão aos terminais do díodo bipolar é possível determinar a temperatura, utilizando para isso as características eléctricas do díodo. Injectando uma corrente no díodo e monitorizando a queda de tensão neste, é possível determinar a temperatura ambiente.

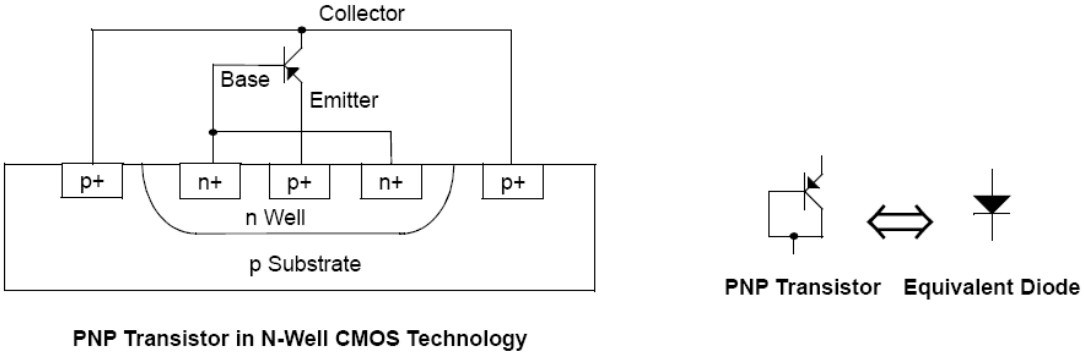


Figura 3.4 – Díodo bipolar

Segundo [22], pode-se escrever a função de transferência do sensor como

$$T_A[^{\circ}C] = \frac{V_{out} - V_{0^{\circ}C}}{19{,}53} \tag{3.1}$$

onde,

$$V_{0^{a}C} = 400mV, T_A = Temperatura\ Ambiente\ e\ V_{out} = Tensão\ devolvida\ pelo\ sensor$$

Uma vez que o sensor de temperatura devolve uma tensão, é apenas necessário estabelecer a conexão deste ao conversor (ADC) do microcontrolador para obter a medida pretendida (representação da Figura 3.5).

Na estação utilizaram-se dois sensores de temperatura, onde um mede a temperatura exterior e outro a interior. O sensor de temperatura interior serve unicamente como protecção do equipamento, pois faz despoletar o funcionamento de uma ventoinha quando estabelecida uma determinada temperatura, nomeadamente de 50 ºC.

3.3.3. Esquema de ligação

Na Figura 3.5 pode-se observar o sensor e a ligação ao microcontrolador, como foi dito anteriormente este sensor debita uma tensão proporcional à temperatura verificada, sendo assim apenas necessita de um fio, pois a conversão da tensão é feita em relação ao *GROUND.*

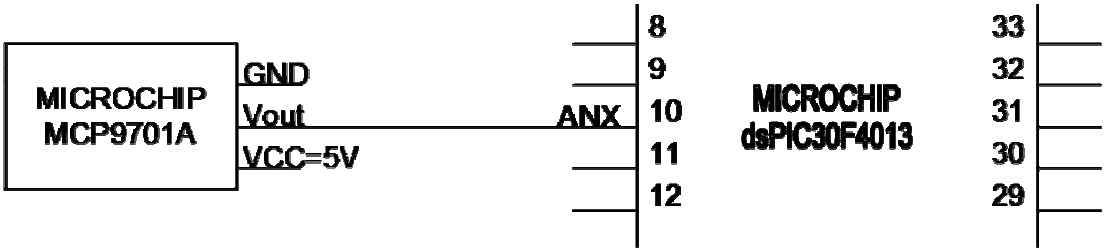


Figura 3.5 – Esquema de ligação do sensor de temperatura

3.3.4. Custo e método de aquisição

O sensor foi adquirido como *sample* pela *Microchip,* como tal não foi necessário qualquer pagamento, contudo este sensor tem o preço de 0,159€ na *Microchip* que é o produtor e numa empresa de venda de componentes electrónicos, *FARNELL,* custa 0,372 €.

3.4. Medição dos Poluentes – Sensores

De modo a efectuar a medição das concentrações dos vários poluentes e assim poder-se caracterizar a qualidade do ar, utilizaram-se sensores específicos para cada uma das grandezas a medir.

Pode-se definir um sensor como um dispositivo que recebe e responde a um estímulo ou sinal. Contudo os sensores realizados pelo Homem, ditos artificiais, respondem com um sinal normalmente eléctrico a um estímulo ou sinal. Existe um tipo de sensor mais específico, designado de transdutor, que converte um tipo de energia, neste caso a concentração de um gás em, por exemplo, um sinal eléctrico.

Neste projecto recorreram-se a dois tipos de sensores: sensores que traduzem a concentração do poluente numa tensão e outros que traduzem essa concentração numa corrente.

3.4.1. Sensor de Dióxido de Carbono

Para medir a concentração de Dióxido de Carbono (CO2), existem variados tipos de recursos no mercado, diferenciando-se principalmente pelo seu tempo de resposta, consumo e limites de concentrações para o qual operam.

Neste projecto utilizou-se um sensor da Alphasense, que se evidenciou a todos os outros por não ser necessário qualquer tipo de condicionamento de sinal e não necessitar de alimentação. Como o consumo de energia neste projecto é uma limitação critica, este foi um factor de enorme relevância.

3.4.1.1. Características do sensor de Dióxido de Carbono

Como se pode observar na Tabela 3.2, o sensor de CO_2 utilizado varre na perfeição a banda de concentração que se espera vir a encontrar num ambiente normal. Na Figura 3.6 pode-se observar a resposta deste sensor. Como a concentração normal de CO_2 presente no ar normalmente nunca é inferior a 350 PPM, não é de esperar que este sensor debite menos que 5mV.

O tempo de resposta deste sensor é um pouco elevado, demorando 2 a 4 minutos a responder a uma variação da concentração. Quer isto dizer que o sistema não tem a capacidade de reagir a variações bruscas da concentração de CO_2. Contudo, uma vez que se pretende que o dispositivo móvel obtenha um valor médio e tendo em conta que as variações bruscas, nomeadamente quase instantâneas[2], não são representativas do medida pretendida, não se espera que tal seja um factor limitativo.

[2] Por exemplo devida a uma incidência directa dos gases de escape de um dado veiculo

De referir que o sensor tem uma grande dependência da temperatura. Contudo, graças ao sensor de temperatura, também embebido na estação, é possível compensar esta dependência.

Tabela 3.2 – Características do sensor de dióxido de Carbono [19]

Sensor dióxido de Carbono - CO_2			
Performance	Intervalo de medida		100 PPM – 95%
	Tempo de Resposta		2 a 4 minutos
	Resolução		1 PPM
Ambiente	Dependência da Temperatura	10º – 20º	+6mV
		20º - 30º	-3mV

Da Figura 3.6 é possível observar a relação entre a tensão debitada pelo sensor e a concentração de Dióxido de Carbono. Do gráfico retira-se uma linha de tendência muito aproximada à curva real. Esta equação é inserida na programação do microcontrolador que assim converte facilmente a tensão no valor de concentração correspondente.

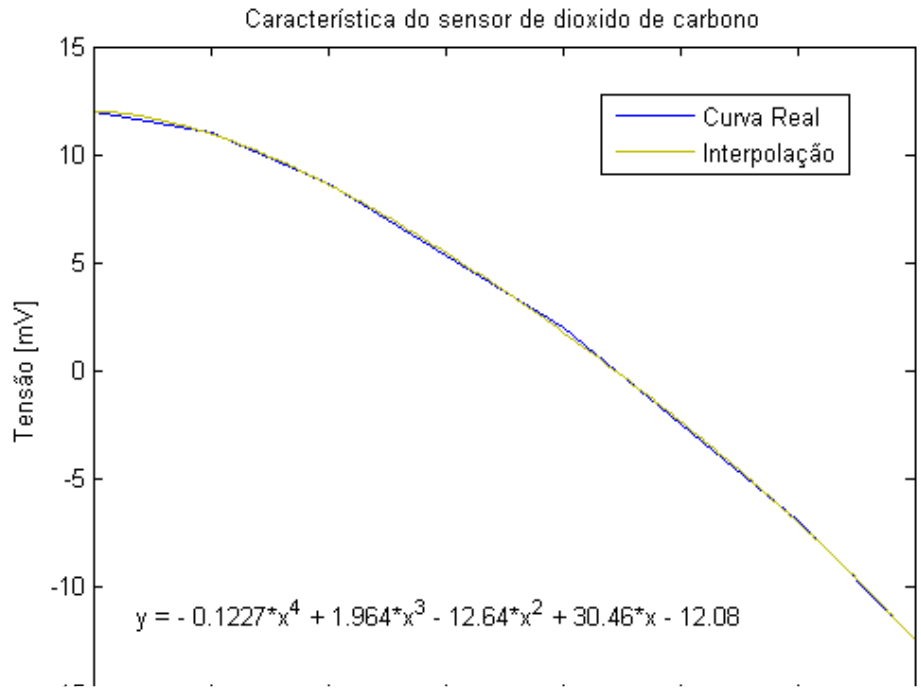


Figura 3.6 – Característica do sensor de Dioxido de Carbono

Do gráfico da Figura 3.6, pode-se escrever

$$y[mV] = -0{,}1227.x^4 + 1{,}964.x^3 - 12{,}64.x^2 + 30{,}46.x - 12{,}08 \quad (3.2)$$

onde x representa a concentração de Dióxido de Carbono e y a tensão debitada pelo sensor. Como o sensor devolve o valor de tensão e se pretende obter a concentração, altera-se a equação (3.2) de modo a ficar em função de y, nomeadamente

$$x[PPM] = 1{,}352 \times 10^{-5}.y^4 - 2{,}663 \times 10^{-5}.y^3 - 4{,}055 \times 10^{-3}.y^2 - 0{,}1189.y + 4{,}269 \quad (3.3)$$

3.4.1.2. Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento do sensor utilizado neste projecto. não foi facultado pelo fabricante. Como tal, para melhor compreender o princípio de funcionamento deste tipo de dispositivos, apresenta-se, em alternativa, um sensor de $C0_2$ da Fígaro. O sensor utilizado no projecto ainda se encontra em fases de desenvolvimento pelo próprio fabricante, daí não ser possível serem facultados dados.

O sensor da Fígaro, bastante semelhante, apresenta um tempo de resposta praticamente imediato, mas o seu consumo é cerca de 1,5W, valor muito alto tendo em conta o tipo de dispositivo onde seria aplicado.

Segundo [20], o sensor de CO_2 consiste numa célula de electrolítica sólida sensível ao CO_2 e um termistor interno para compensação da temperatura. Na Figura 3.7 ilustra-se um corte transversal do sensor, que facilita a compreensão da sua constituição.

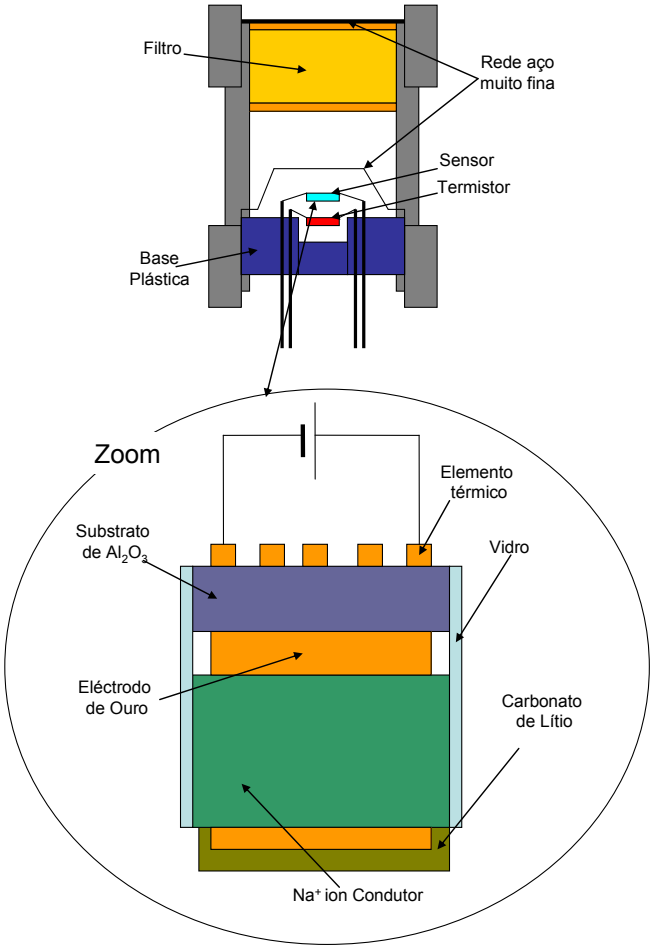


Figura 3.7 – Corte Transversal do TGS4160 e detalhe do sensor

A base do sensor é feita de fibra de vidro. Na parte exterior do sensor observa-se uma cobertura de Polyamide reforçado. As superfícies laterais do sensor são revestidas com vidro e no topo deste sensor existe um filtro para prevenir a entrada de poeira e água.

O disco condutor de Na^+ tem um diâmetro de 7 mm e espessura de 0,7 mm; este está preenchido com eléctrodos de ouro de ambos os lados. Uma camada de carbonato de lítio é adicionada no lado do cátodo e depois é calcinada a 600 ºC. Uma fina camada de óxido de Alumínio cerâmico, leva um elemento impresso de platina, que vai servir de elemento térmico e que é adicionado ao lado do ânodo. Fios de platina ligam o elemento sensível aos pinos de conexão na base do sensor.

Quando em funcionamento o sensor é aquecido até cerca de 450ºC pelo elemento térmico., daí o grande consumo deste sensor.

Em cada uns dos eléctrodos deste sensor, cátodo e ânodo, ocorrem reacções químicas. O ponto de equilíbrio da reacção no cátodo depende da concentração parcial de CO_2 e Oxigénio (O_2).

A reacção no cátodo do cátodo pode ser escrita como

$$2Li^+ + CO_2 + \frac{1}{2}O_2 + 2e^- \Leftrightarrow Li_2CO_3 \quad (3.4)$$

e no ânodo

$$2Na^+ + \frac{1}{2}O_2 + 2e^- \Leftrightarrow Na_2O \quad (3.5)$$

De (3.4) e (3.5) retira-se a reacção química total:

$$2Na^+ + Li_2CO_3 \Leftrightarrow Na_2O + 2Li^+ + CO_2 \quad (3.6)$$

Cada reacção causa uma concentração particular de carga no eléctrodo correspondente. A carga pode ser medida como uma tensão entre os dois eléctrodos.

Esta tensão, segundo a equação de Nernst, pode ser medida pela força electromotora (EMF).

A equação de Nernst representa a relação quantitativa que permite calcular diferença de potencial entre um metal e a solução de seus iões, ou seja, de um eléctrodo.

A EMF resulta da reacção química total (3.6) e é definida como

$$EMF[mV] = E_C(R \cdot T)/(2 \cdot F) \cdot \ln[P(CO_2)] \quad (3.7)$$

onde, E_C é a constante de volume, R é a constante do volume do gás, T a temperatura absoluta, F a constante de Faraday e $P(CO_2)$ a pressão parcial de CO_2.

Para obter dados da concentração do gás a ser medido, o sensor requer um aquecimento durante um certo tempo, logo tem que haver um sistema electrónico adequado. Depois de aquecido, o sensor devolve durante um determinado tempo, um valor relativamente estável, da concentração de CO_2.

3.4.1.3. Condicionamento de Sinal

Para o bom financiamento do sensor apresentado no capítulo anterior, tanto a nível da exactidão da medida, como também para a protecção do sensor, o condicionamento de sinal tem uma enorme importância.

A célula sensível do sensor tem uma impedância interna muito alta. Como tal, um circuito de leitura com uma impedância baixa, pode resultar numa leitura errada e na degradação do sensor.

Logo, a leitura do sensor é realizado utilizando um circuito com alta impedância de entrada. Para tal pode ser utilizado um ampop, numa montagem de amplificador seguidor, como demonstra a Figura 3.8.

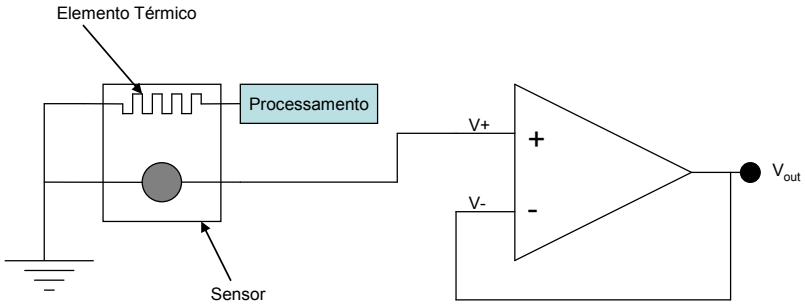


Figura 3.8 – Condicionamento de sinal necessário ao funcionamento do sensor TGS4169
AI – Amplificador de Instrumentação; sensor TGS4160 da Figaro

Neste projecto, como foi dito anteriormente, foi utilizado um sensor da Alphasense, que devolve uma tensão proporcional à concentração. Contudo, como o sistema de medida necessita de ter uma impedância quanto maior possível, idealmente infinita, utilizou-se um Amplificador de Instrumentação para realizar o circuito e amplificar o sinal. Pode-se observar na Figura 3.9 um esquemático exemplificativo da montagem utilizada.

O amplificador de instrumentação (AI) tem a mesma função de um amplificador diferencial, com a vantagem de ter as suas entradas em alta impedância e o ganho do amplificador ser comandado por uma única resistência. Um AI tem, genericamente, três ampops e resistências. O esquema exemplificativo deste circuito pode ser observado na Figura 3.9 e Figura 3.10.

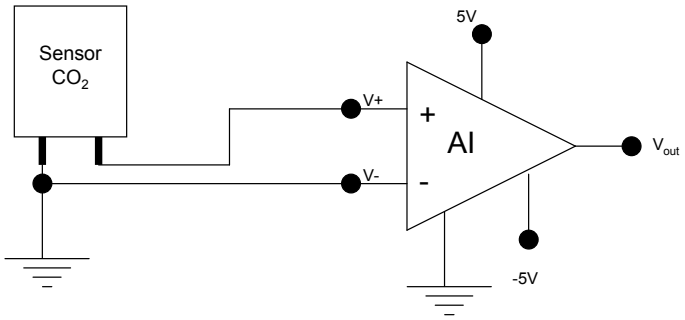


Figura 3.9 – Condicionamento de sinal para o sensor de CO_2 da Alphasense

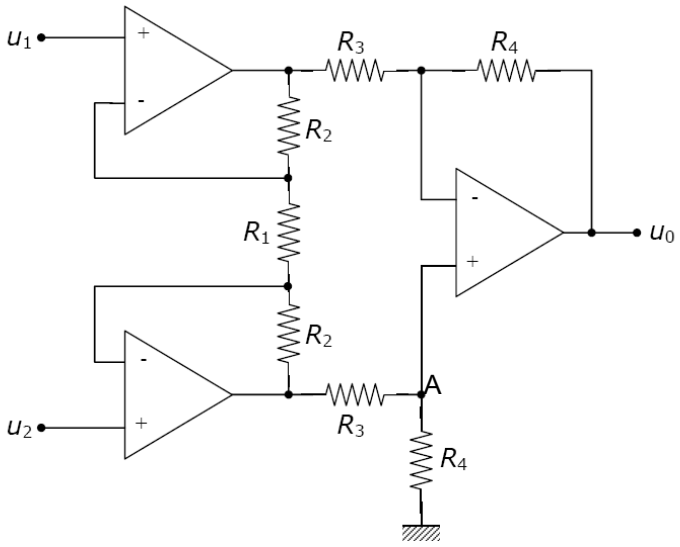


Figura 3.10 – Esquema de um Amplificador de Instrumentação

O ganho da montagem da Figura 3.10 é determinado exclusivamente pela resistência R_1. Esta montagem tem a particularidade de poder ser adicionada uma referência em A. Assim, a saída deverá ser referenciada a esta.

Voltando à montagem desenvolvida, Figura 3.9, utilizou-se um amplificador de instrumentação da *Linear Technology, o* LTC1100. Neste dispositivo o ganho está previamente definido, não sendo necessário adicionar qualquer resistência. Visto ser um amplificador de instrumentação de alta precisão, as suas tensões e correntes de *offset* são extremamente baixas, não comprometendo em nada a validade dos dados obtidos.

Na saída do Amplificador de instrumentação tem-se a tensão do sensor multiplicada por um determinado ganho previamente definido. Esta saída está ligada no porto RB0 (pino 2) do microcontrolador. Na equação (3.8) pode-se observar a tensão de saída do AI.

$$V_{out} = (V^+ - V^-) \cdot A \tag{3.8}$$

onde V^+ é a entrada positiva do AI, V^- a entrada negativa e A é o ganho da montagem.

Tendo em conta que os limites do ADC são de 0 e 5 V e que pode ter, no máximo, o valor de 15mV, utilizou-se um amplificador de instrumentação com um ganho de 100.

Sabendo que é 0 V e que o ganho, A, é 100, fica-se com

(3.9)

O sensor tem uma forte dependência da temperatura, este muda o valor da sua tensão em função da temperatura ambiente. Para compensar esta variação, é adicionado um factor correctivo à

tensão de saída do sensor. Este factor é depende da temperatura actual, sendo denominado de tensão de compensação da temperatura V_{temp}, e é dado por

$$\begin{aligned} 10^{\circ} < t < 20^{\circ} &\rightarrow V_{temp} = 6mV \\ 20^{\circ} < t < 30^{\circ} &\rightarrow V_{temp} = -3mV \end{aligned} \tag{3.10}$$

Assim, a tensão de saída do sensor é traduzida por

$$V_{out} = \left(V^{+} + V_{temp}\right) \cdot 100 \tag{3.11}$$

Esta tensão é aplicada à entrada do Microcontrolador, num dos conversores de analógico para digital (ADC) disponíveis.

Para determinar a concentração de CO_2 medida, recorre-se a (3.3) e (3.11), ficando com

$$\begin{aligned} x[PPM] = 1{,}352\times10^{-5} \cdot \left(\frac{V_{out}}{100}\times10^{3}\right)^{4} - 2{,}663\times10^{-5} \cdot \left(\frac{V_{out}}{100}\times10^{3}\right)^{3} \\ - 4{,}055\times10^{-3} \cdot \left(\frac{V_{out}}{100}\times10^{3}\right)^{2} - 0{,}1189 \cdot \left(\frac{V_{out}}{100}\times10^{3}\right) + 4{,}269 \end{aligned} \tag{3.12}$$

sendo que x é directamente a concentração de CO_2 em PPM.

3.4.2. Sensor de CO, NO_2, SO_2, O_3

Para a análise dos gases CO, NO_2, SO_2, e O_3 utilizaram-se módulos pré-calibrados da *Alphasense*. Estes módulos incluem os sensores amperimétricos, o condicionamento de sinal necessário para o funcionamento do sensor e a sua transdução num valor de corrente bem modulado por uma expressão matemática.

Os sensores de gases são células electroquímicas que funcionam em modo amperimétrico, isto é, estas células debitam um corrente proporcionalmente linear à concentração do gás a ser medido.

3.4.2.1. Principio de funcionamento

Os quatro sensores baseiam-se no mesmo princípio de funcionamento, variando apenas as reacções químicas no seu interior. O fabricante apenas facultou uma descrição genérica deste tipo de sensores, não especificando as reacções em nenhum deles.

Na Figura 3.11 a) apresenta-se um exemplo desse tipo de sensores, onde se visualizam os contactos e sua disposição e em b) apresenta-se um esquemático deste sensor, onde se observa, não só a disposição dos eléctrodos, como também de todos os elementos que constituem o sensor.

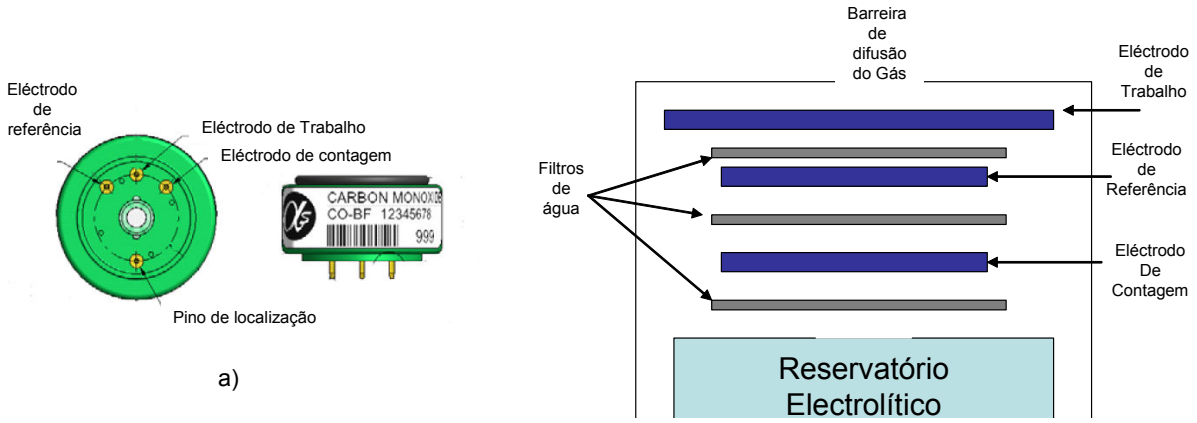


Figura 3.11 – Exemplo genérico de um sensor amperimétrico(a) e esquemático (b)

Estes sensores possuem três eléctrodos, são eles: eléctrodo de trabalho, referência e de contagem. Cada um deles apresenta uma função específica, segundo [5].

Todos os eléctrodos possuem uma composição idêntica ao eléctrodo de trabalho e estão dispostos de forma paralela entre eles, como se compreende da Figura 3.11 b).

Nos eléctrodos de trabalho e contagem ocorrem reacções químicas, geralmente reacções balanceadas, ou seja, quando se verifica, num dos eléctrodos, uma oxidação, no outro dá-se uma redução.

O eléctrodo de trabalho (*Worker),* foi desenhado para optimizar as reacções de oxidação ou redução para com o gás a ser medido. Este eléctrodo permite que o gás entre e fique em contacto com ambos os eléctrodos e o electrólito de modo a formar uma interface entre o gás, liquido e sólido. Podem ocorrer oxidações em gases como: o monóxido de Carbono, dióxido de Enxofre, óxido de Azoto entre outros, e podem observar-se reduções no dióxido de Azoto e Cloro. Este sensor devolve uma corrente proporcional à concentração do gás alvo. Esta corrente é fornecida pelo eléctrodo contador (*Counter*).

O eléctrodo de contagem (*Counter*), balanceia as reacções do eléctrodo de trabalho, ou seja, quando o eléctrodo de trabalho oxida um gás, o eléctrodo de contagem reduz uma outra molécula para gerar uma corrente equivalente, mas em sentido contrário. Por exemplo, quando o monóxido de Carbono é oxidado no eléctrodo de trabalho, o Oxigénio tem que ser reduzido no eléctrodo de contagem. As reacções podem traduzir, no eléctrodo de trabalho, como

$$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + 2H^+ + 2e^+ \tag{3.13}$$

e no eléctrodo de contagem

$$1/2O_2 + 2H + 2e^- \rightarrow H_2O \tag{3.14}$$

A combinação de (3.13) e (3.14) permite escrever

$$CO + 1/2O_2 \rightarrow CO_2 \tag{3.15}$$

Quanto maior for a concentração de CO, maior terá que ser o trabalho do eléctrodo de contagem para gerar oxigénio, que será consumido no eléctrodo de trabalho. Ao contrário do eléctrodo de trabalho, no eléctrodo de contagem o potencial pode variar.

O eléctrodo de contagem tem que garantir que tem tensão e corrente suficiente para manter o eléctrodo de trabalho no mesmo potencial que o eléctrodo de referência.

Por fim, o eléctrodo de referência (*Reference*) é usado para assegurar que o eléctrodo de trabalho funciona na região correcta da sua curva de corrente-tensão. É importante que este eléctrodo esteja num potencial estável de modo a manter um potencial electroquímico igualmente estável no eléctrodo de trabalho. Só assim é possível garantir a sensibilidade constante, uma boa linearidade e uma minimização da interferência de outros gases.

3.4.2.2. Condicionamento de Sinal

O condicionamento de sinal nestes sensores pode-se dividir em quatro blocos: o condicionamento de sinal necessário à polarização do sensor (Figura 3.12 a); a protecção do sensor (Figura 3.12 b); a limitação da corrente devolvida pelo sensor a um intervalo compreendido entre 4 mA, correspondente ao zero da concentração do sensor, e 20 mA, correspondente à concentração máxima do sensor (Figura 3.12 c); e finalmente a conversão do valor de corrente num valor de tensão, posteriormente utilizado no conversor de analógico para digital (ADC) do microcontrolador (Figura 3.13).

Na Figura 3.12 é possível observar-se os três primeiros blocos do condicionamento de sinal e na Figura 3.13 o quarto bloco.

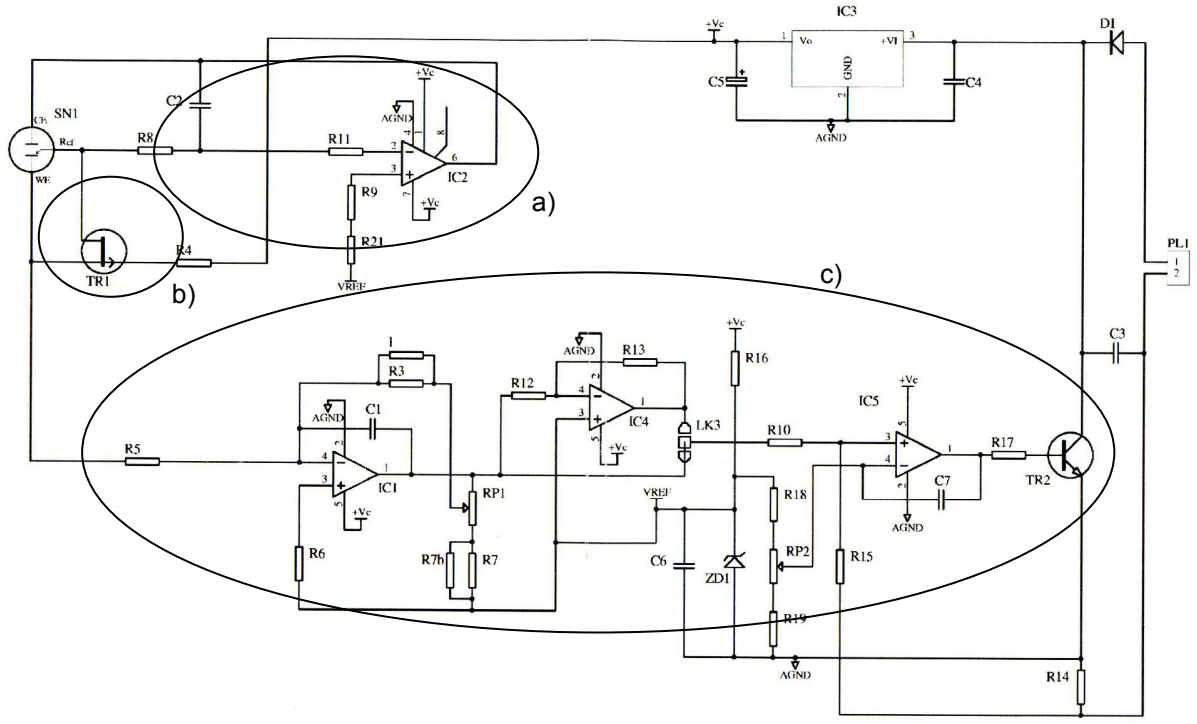


Figura 3.12 – Esquema do condicionamento de sinal para o sensor [8]

Na Figura 3.12 a), encontra-se o circuito de controlo. Este circuito fornece a corrente ao eléctrodo de contagem, de modo a balancear o equilíbrio com o eléctrodo de trabalho, pois toda a corrente que este eléctrodo debita provém do eléctrodo de contagem. A entrada inversora deste ampop (IC2) está ligada ao eléctrodo de referência de onde provem uma corrente com valores na ordem dos nA.

O JFET (Figura 3.12 b) serve para gerar um curto-circuito entre o eléctrodo de trabalho e o eléctrodo de contagem quando o circuito está desligado. Se tal não acontecer o sensor fica em circuito aberto enquanto o circuito estiver desligado e, na vez seguinte em que é ligado, levará

algumas horas até estabilizar. Contudo, a não utilização deste JFET não afecta o tempo de vida operacional do sensor.

Quando o circuito é ligado, o JFET passa para o estado de alta impedância e o ampop IC2 fornece a corrente necessária de modo a manter o eléctrodo de trabalho ao mesmo potencial que o eléctrodo de referência.

Por fim, o circuito de medida de corrente Figura 3.12 c). Este circuito converte a corrente debitada pelo sensor num valor de corrente tabulado, corrente essa consumida pelo transístor TR2. Como o consumo de corrente de toda a parte electrónica é inferior a 100 uA e o zero de concentração coincide com um consumo de 4 mA, tal não tem qualquer influência. Logo, medindo o consumo do circuito, tem-se directamente a concentração do gás a ser medido, isto porque, a corrente consumida pelo circuito está directamente relacionada com a concentração de gás medida.

O circuito foi calibrado de modo a obter o zero da concentração nos 4 mA e o máximo da concentração nos 20 mA.

Posto isto realizou-se um circuito de medição da corrente consumida. O esquemático desse circuito pode ser visualizado na Figura 3.13.

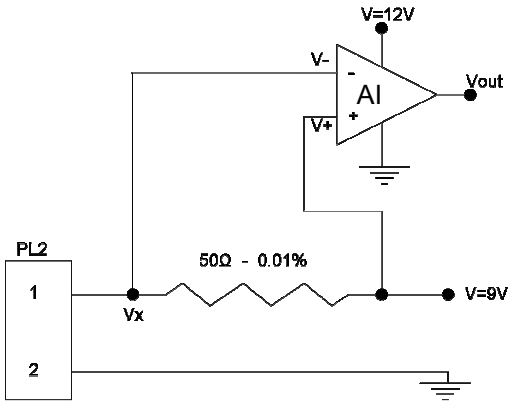


Figura 3.13 – Esquemático do conversor de corrente para tensão
AI – Amplificador de Instrumentação, PL2 – Conector

A saída do circuito da Figura 3.12 e a entrada do circuito Figura 3.13 são ambas no mesmo ponto, PL1 e PL2, respectivamente. Assim, torna-se necessário proceder a uma montagem capaz de medir a corrente consumida pelo sensor. A resposta é um amplificador de instrumentação (AI) com uma resistência de precisão aos seus terminais, como demonstra a Figura 3.13. É importante o uso de um AI porque a tensão de modo comum é alta (9 V) e também porque se pretende uma impedância de entrada elevada para não perturbar os 50 Ω. A tensão de saída do amplificador de instrumentação é dado por

(3.16)

onde e representam as entradas do amplificador de instrumentação e *A* o ganho em malha aberta.

Por seu lado, a corrente que atravessa a resistência é dada por

$$I = \left(\frac{V^{+} - V^{-}}{R} \right) \tag{3.17}$$

onde R tem o valor de 50 Ω.

Fixando a tensão $V=V^{+}$ a 9 V e recordando que o valor de corrente máximo é de 20 mA, vem de (3.16) que V^{-} não será menor que 8 V.

Tendo em conta que os limites do ADC são de 0 e 5 V, define-se para o ganho do amplificador de instrumentação o valor de 4,875.

De (3.16) é agora possível escrever

$$V_{out} = (9 - V^{-}) \cdot 4{,}95 \tag{3.18}$$

e atendendo a (3.17), fica-se com

$$V_{out} = 247{,}5 \cdot I \tag{3.19}$$

Sabendo que a corrente I pode variar entre 4 mA e 20 mA, V_{out} compreende valores entre 0,99 V e os 4,95 V, onde a limite inferior corresponde ao zero da concentração e o valor superior ao valor máximo de concentração para o qual o sensor está dimensionado. Resumindo,

$$\begin{aligned} 0{,}99\ V &\rightarrow 4\,mA \\ 4{,}95\ V &\rightarrow 20\,mA \end{aligned} \tag{3.20}$$

3.4.2.3. Características do Sensor de Monóxido de Carbono

Na Tabela 3.3 observa-se as principais características do sensor de monóxido de Carbono. O sensor tem um limite máximo de concentração de 100 PPM, o que é ideal para as concentrações esperadas. No que diz respeito ao tempo de resposta, este sensor apresenta um tempo inferior a 30 s. O facto de não ser imediato pode ser benéfico, tal como já foi referido anteriormente.

Tabela 3.3 – Características do sensor de Monóxido de Carbono [19]

Sensor Monóxido de Carbono - CO-BF			
Performance	Limites		100 PPM
	Tempo de Resposta		<30s
	Resolução		<0.3 PPM
	Zero	Concentração zero	<±2
Ambiente	Dependência da Temperatura	Zero @ -20º	±2 PPM
		Zero @ 50º	<3 PPM
		Limites	-30º a 50º
	Limites de Pressão	kPa	80 a 120

Atendendo aos limites deste sensor e segundo (3.20)

$$\begin{aligned} 0{,}99V &\rightarrow 0 \quad [PPM] \\ 4{,}95V &\rightarrow 100[PPM] \end{aligned} \tag{3.21}$$

Usando uma interpolação linear dos dados apresentados em (3.21) fica-se com

$$X[PPM] = 25{,}25 \cdot V_{out} - 25 \tag{3.22}$$

onde V_{out} é o valor devolvido pelo AI, como se pode observar em (3.18).

Na Figura 3.14 é representada a dependência do sensor de monóxido de Carbono à temperatura.

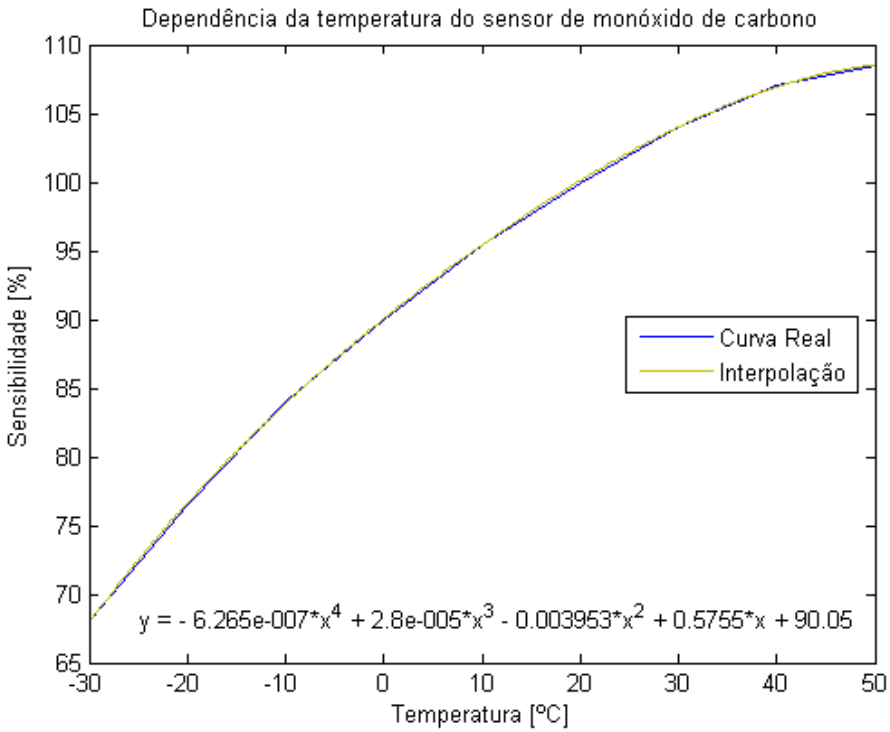

Dependência da temperatura do sensor de monóxido de carbono
Sensibilidade [%]
Temperatura [ºC]
Curva Real
Interpolação
y = - 6.265e-007*x^4 + 2.8e-005*x^3 - 0.003953*x^2 + 0.5755*x + 90.05

Figura 3.14 – Curva real com os dados do fabricante e respectiva interpolação.

Usando uma interpolação aos dados do gráfico representado na Figura 3.14, é possível obter uma equação que quantifica a respectiva dependência, nomeadamente

$$y = -6{,}265\times10^{-7}x^4 + 2{,}8\times10^{-5}x^3 - 3{,}953\times10^{-3}x^2 + 5{,}755\times10^{-1}x + 90{,}05 \qquad (3.23)$$

Sabendo que x representa a temperatura e usando (3.22), fica-se com a expressão final onde se obtém a concentração do monóxido de Carbono

$$X[PPM] = \left(25{,}25\cdot V_{out} - 25\right)\cdot y \qquad (3.24)$$

3.4.2.4. Características do Sensor Dióxido de Enxofre

Na Tabela 3.4 pode-se observar as principais características do sensor de dióxido de enxofre. O sensor tem um limite de concentração de 20 PPM, valor um pouco alto para as concentrações esperadas, mas foi o valor mais baixo encontrado para sensores do tipo. No que diz respeito ao tempo de resposta, este sensor apresenta um tempo inferior a 60 s.

Tabela 3.4 – Características do sensor de Dióxido de Enxofre [19]

Sensor Dióxido de Enxofre - SO_2-BF			
Performance	Limites		20 PPM
	Tempo de Resposta		<30s
	Resolução		<0.1 PPM
	Zero	Concentração zero	<±0.5
Ambiente	Dependência da Temperatura	Zero @ -20º	<±0.4 PPM
		Zero @ 50º	<±3 PPM
		Limites	-30º a 50º
	Limites de Pressão	kPa	80 a 120

Atendendo aos limites deste sensor e segundo (3.20)

$$\begin{aligned} 0{,}99V &\rightarrow \quad 0\ [PPM] \\ 4{,}95V &\rightarrow \ 20\ [PPM] \end{aligned} \tag{3.25}$$

Finalmente, segundo (3.20) e (3.22) fica-se com:

$$X[PPM] = 5{,}051 \cdot V_{out} - 5 \tag{3.26}$$

Na Figura 3.15 é representada a dependência do sensor de dióxido de enxofre à temperatura.

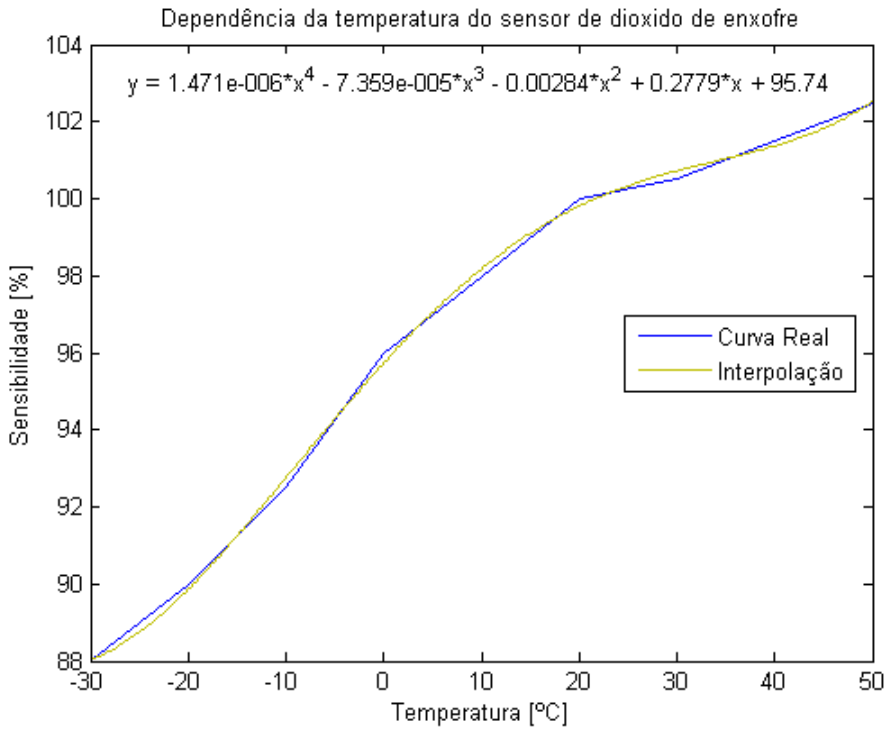


Figura 3.15 – Curva real com os dados do fabricante e respectiva interpolação

Usando uma interpolação dos dados do gráfico da sensibilidade em função da temperatura (Figura 3.15), é possível obter a equação que quantifica a respectiva dependência

$$y = 1{,}471\times10^{-6}x^4 - 7{,}359\times10^{-5}x^3 + 2{,}84\times10^{-3}x^2 - 2{,}779\times10^{-1}x + 95{,}74 \qquad (3.27)$$

Sabendo que x representa a temperatura, usando (3.26) fica-se com a expressão final (3.28), de onde se retira a concentração do dióxido de Enxofre

$$X[PPM] = (5{,}051\cdot V_{out} - 5)\cdot y \qquad (3.28)$$

3.4.2.5. Características do Sensor Dióxido de Azoto

Na Tabela 3.5 pode-se observar as principais características do sensor de dióxido de azoto. O sensor tem um limite de concentração de 10 PPM, e uma resolução de 0,02 PPM, características adequadas para os valores esperados.

Tabela 3.5 – Características do sensor de Dióxido de Azoto [19]

Sensor Dióxido de Azoto - NO_2-B1			
Performance	Limites		10 PPM
	Tempo de Resposta		<60s
	Resolução		<0.02 PPM
	Zero	Concentração zero	<±0.2
Ambiente	Dependência da Temperatura	Zero @ -20º	<±0.15 PPM
		Zero @ 50º	<-0.1 a -0.25 PPM
		Limites	-30º a 50º
	Limites de Pressão	kPa	80 a 120

Atendendo aos limites deste sensor e segundo (3.20)

$$\begin{aligned} 0.99V &\rightarrow 0 \ \ [PPM] \\ 4.95V &\rightarrow 10\ [PPM] \end{aligned} \tag{3.29}$$

Finalmente segundo (3.20 e (3.22) fica-se com

$$X[PPM] = 2{,}525 \cdot V_{out} - 2{,}5 \tag{3.30}$$

A dependência da temperatura no sensor de dióxido de Azoto está representada na Figura 3.16.

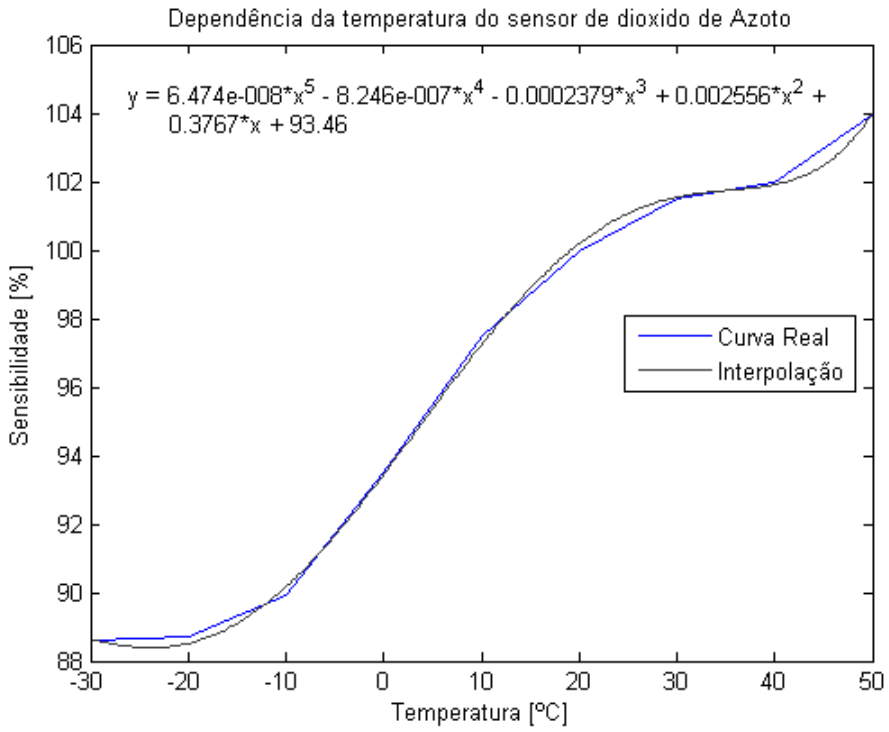


Figura 3.16 – Curva real com os dados do fabricante e respectiva interpolação

Usando, mais uma vez, uma interpolação dos dados do gráfico da sensibilidade em função da temperatura, é possível obter a dependência, nomeadamente

$$y = 6{,}474\times10^{-8}x^5 - 8{,}246\times10^{-7}x^4 - 2{,}379\times10^{-4}x^3 + 2{,}556\times10^{-3}x^2 + 3{,}767\times10^{-1}x + 93{,}46 \quad (3.31)$$

Sabendo que x representa a temperatura e usando (3.30), é possível obter finalmente para a concentração do dióxido de Azoto

$$X[PPM] = (2{,}525\cdot V_{out} - 2{,}5)\cdot y \quad (3.32)$$

3.4.2.6. Características do Sensor de Ozono

Para o sensor de Ozono, utilizou-se um sensor de Cloro que é 100 % sensível ao Ozono.

Na Tabela 3.6 pode-se observar as principais características do sensor de Ozono. O sensor tem um limite de concentração de 10 PPM, e uma resolução de 0.02 PPM, características adequadas para os valores esperados.

Tabela 3.6 – Características do sensor de Ozono [19]

Sensor Ozono - CL_2-B1			
Performance	Limites		10 PPM
	Tempo de Resposta		<60s
	Resolução		<0.02 PPM
	Zero	Concentração zero	<±0.2
Ambiente	Dependência da Temperatura	Zero @ -20º	<±0.15 PPM
		Zero @ 50º	-0.1 a -0.25 PPM
		Limites	-30º a 50º
	Limites de Pressão	kPa	80 a 120

Atendendo aos limites deste sensor e segundo [3.20]:

$$\begin{aligned} 0.99V &\rightarrow 0 \quad [PPM] \\ 4.95V &\rightarrow 10[PPM] \end{aligned} \tag{3.33}$$

Finalmente segundo (3.20) e (3.22) fica-se com:

$$X[PPM] = 2{,}525 \cdot V_{out} - 2{,}5 \tag{3.34}$$

A dependência da temperatura no sensor de Ozono está representada na Figura 3.17.

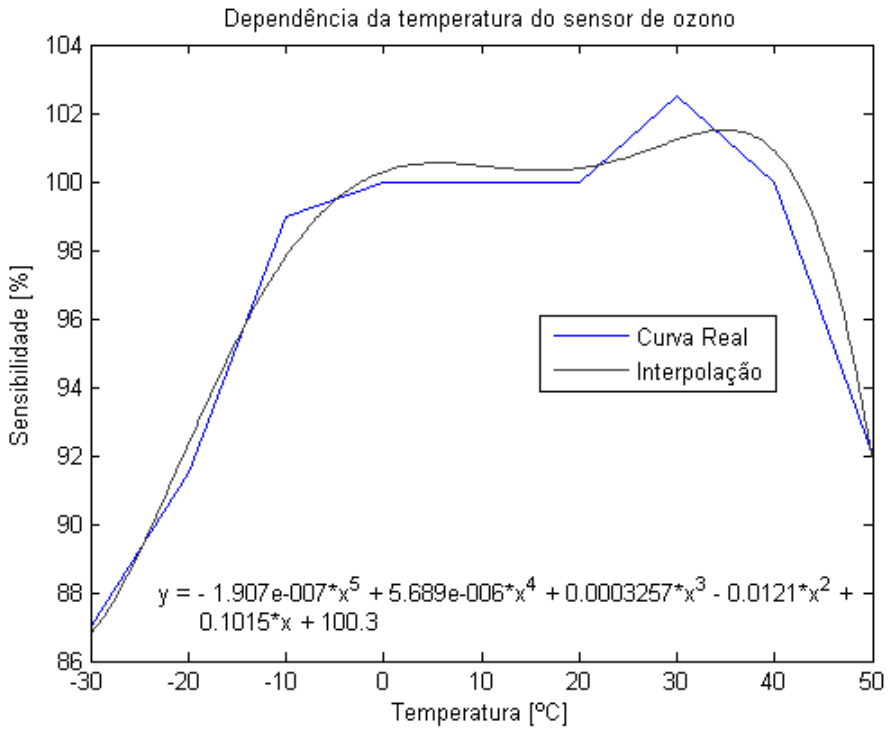

Dependência da temperatura do sensor de ozono
Sensibilidade [%]
Temperatura [ºC]
Curva Real
Interpolação
y = - 1.907e-007*x^5 + 5.689e-006*x^4 + 0.0003257*x^3 - 0.0121*x^2 + 0.1015*x + 100.3

Figura 3.17 – Curva real com os dados do fabricante e respectiva interpolação

Usando uma interpolação dos dados do gráfico da Figura 3.17, é possível quantificar a respectiva dependência.

$$y = -1{,}907 \times 10^{-7} x^5 + 5{,}689 \times 10^{-6} x^4 + 3{,}357 \times 10^{-4} x^3 - 1{,}21 \times 10^{-2} x^2 + 1{,}015 \times 10^{-1} x + 100{,}3 \quad (3.35)$$

Sabendo que x representa a temperatura, usando (3.34) fica-se com a expressão final de onde se obtém a concentração do Ozono

$$X[PPM] = (2{,}525 \cdot V_{out} - 2{,}5) \cdot y \quad (3.36)$$

3.5. Sistema de Transmissão de Dados – Módulo GSM/GPRS

A transmissão de dados de um modo automático revelou-se numa necessidade essencial. Desta forma a estação não requer qualquer manuseamento por parte do utilizador para a obtenção e armazenamento dos dados. Estes são enviados de forma automática da estação para um servidor, onde podem ser facilmente consultados.

Para tal utilizou-se um módulo de GSM/GPRS, que possui várias formas de comunicação. Com estes módulos é possível, por exemplo, fazer chamadas de voz, chamadas de dados, enviar sms (*small messaging system*), enviar dados por GPRS, utilizar serviços de Internet usando GPRS, entre outros.

Neste projecto utilizou-se um serviço de Internet, tendo como base de ligação o GPRS.

3.5.1. Breve introdução ao GPRS e suas utilidades

O GPRS é uma tecnologia que tem a capacidade de aumentar as taxas de transferência de dados utilizando a rede de GSM existente. Esta tecnologia transfere os dados por pacotes, o que faz aumentar não só a velocidade, que idealmente pode chegar aos 170 Kbps, como também é considerada mais viável em termos económicos, pois não necessita manter o serviço (*slot* de tempo) permanentemente ocupado, como acontece nas chamadas de voz. Neste caso, o serviço só é atribuído ao utilizador quando é necessário enviar ou receber dados. Desta forma é possível partilhar recursos entre os vários utilizadores, aumentando assim a capacidade da rede, o que leva a serviços mais económicos para o utilizador. Assim, o utilizador pode estar sempre activo e pagar só quando realmente utiliza o serviço.

Uma vez que o GPRS suporta as comunicações do protocolo TCP/IP, é possível utilizar os protocolos de Internet de mais alto nível, como o http, ftp, smtp, etc.

Dito isto, será interessante falar em protocolos de comunicação. Estes implementam a pilha de protocolos sobre o qual a Internet e a maioria dos serviços funcionam. Um protocolo de comunicação é não mais do que um conjunto de regras e convenções necessárias para a comunicação entre computadores.

O protocolo TCP/IP pode ser visto como um grupo de camadas, onde cada uma resolve um conjunto de problemas, devolvendo à camada acima um serviço bem definido. Este protocolo é assim chamado pois os dois principais protocolos deste modelo são o TCP – *Transmission Control Protocol* (Protocolo de Controle de Transmissão) e o IP – *Internet Protocol* (Protocolo Internet). Uma outra forma de designar estas camadas é utilizando o Modelo OSI (*Open Systems Interconnection*), a possível comparação entre estas duas formas de se descrever as várias camadas que compõem a interligação entre as máquinas pode ser analisada na Tabela 3.7.

Como será lógico, as camadas superiores são aquelas mais perto do utilizador final. É exemplo disso a camada de aplicação, na qual se utilizam os protocolos de http, ftp, smtp, pop, etc.

È possível definir as várias camadas da arquitectura da Internet. Na Tabela 3.7 observa-se a descrição das várias camadas e sua utilidade.

Tabela 3.7 – Modelo TCP/IP e Modelo OSI

Camada	Descrição	Protocolo
4.Camada de Aplicação (Camadas OSI 6 e 7)	Interface entre o protocolo de comunicação e o serviço que receberá os dados através da rede	http, SMTP, FTP, SSH, RTP, Telnet, SIP, RDP, IRC, SNMP, NNTP, POP3, IMAP, BitTorrent, DNS, Ping ...
3.Camada de Transporte (Camadas OSI 4 e 5)	Transferência de dados entre Estações	TCP, UDP, SCTP, DCCP ...
2.Camada de Rede (Camadas OSI 3)	Encaminhamento e expedição de mensagens	IP (IPv4, IPv6) , ARP, RARP, ICMP, IPSec ...
1.Camada Física (Camadas OSI 1 e 2)	Transferência de bits entre maquinas vizinhas	Modem, RDIS, RS-232, EIA-422, RS-449, Bluetooth, USB,...

3.5.2. Serviço de Internet utilizado

O serviço escolhido para enviar os dados da estação para o servidor foi o *HTTP*.

Utilizando este serviço/protocolo e o método *POST*, é possível enviar dados de uma forma dinâmica. Este método é utilizado, por exemplo, no envio de dados de formulários de páginas *HTML*.

O protocolo *HTTP* está incluído na camada de aplicação, onde é utilizado para a transferência de dados na rede mundial de computadores, a *Word Wide Web*. *HTTP* é o acrónimo, derivado da língua inglesa, de *HyperText Transfer Protocol* (Protocolo de Transferência de Hipertexto). Este protocolo pode também ser utilizado para enviar imagens, sons e textos.

Normalmente, o protocolo de *HTTP* utiliza um porto conhecido, nomeadamente o porto 80. Funciona sobre *TCP* (camada de transporte) e é utilizado na comunicação de *sites*, comunicando em linguagem *HTML.*

Em http uma comunicação começa normalmente com um pedido por parte do cliente (*Browser*) para um servidor. Este serviço aceita o pedido enviando um comando especifico para o cliente. Este, por sua vez, envia a informação desejada, por exemplo, um endereço de um sítio na Internet para o servidor. Finalmente, o servidor responde com todos os dados desse site. Na Figura 3.18, apresenta-se um exemplo de um pedido de *HTTP.*

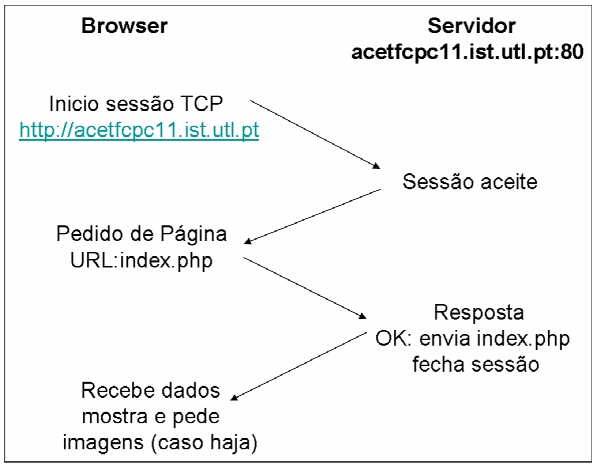


Figura 3.18 – Exemplo de um pedido utilizando HTTP

Caso o cliente necessite enviar dados, pode faze-lo em dois campos: em caso de ser pouca informação, pode enviar os dados junto com o endereço, utilizando o seguinte formato: http://www.ist.utl.pt/?X=dados&Y=maisdados, onde "http://www.ist.utl.pt/" é o endereço e "X=dados&Y=maisdados" são os dados enviados. O carácter "?" é utilizado para fazer a união.

Um outro modo de enviar dados é utilizando o corpo da mensagem. Neste campo pode-se enviar todos os dados que forem necessários. Foi o método adoptado neste projecto.

O cliente, ao efectuar um pedido, é obrigado a enviar um cabeçalho com uma série de dados, entre os quais o método utilizado, o endereço do que quer receber, o tipo de ficheiros que pode

receber, a dimensão, entre outros. Este cabeçalho tem genericamente o aspecto representado na Figura 3.19.

Dependendo do tipo de informação a obter, pode-se utilizar diferentes métodos. *GET, HEAD, POST, PUT, DELETE*, são alguns dos modos mais utilizados.

O método *GET*, provavelmente o método mais utilizado na Internet, é utilizado para recuperar a informação que é identificada no URL.

O método *HEAD* é idêntico ao método *GET*, excepto na resposta do servidor. Este deve retornar unicamente o cabeçalho. O método *HEAD* é utilizado para determinar tamanho de ficheiros ou datas de actualização, poupando assim algum tráfego.

Por fim, o método *POST* é utilizado para submeter dados a serem processados por um recurso conhecido. Os dados são incluídos no corpo do pedido.

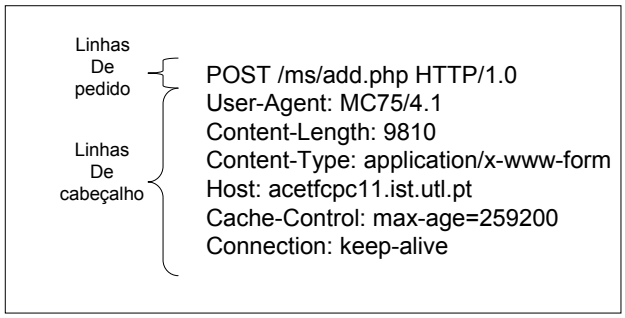


Figura 3.19 – Exemplo de um cabeçalho.

Por outro lado, o servidor, na resposta, também tem certas regras a seguir.

Este deve enviar uma linha de resposta com um código de onde se compreende se o pedido foi bem concretizado ou não, Deve, de seguida, enviar um cabeçalho com o tipo de dados enviados, quantidade de dados, hora, etc., e por fim o corpo da mensagem com os dados solicitados. Na Figura 3.20 pode-se observar uma resposta, onde o servidor envia o conteúdo de um sítio da Internet.

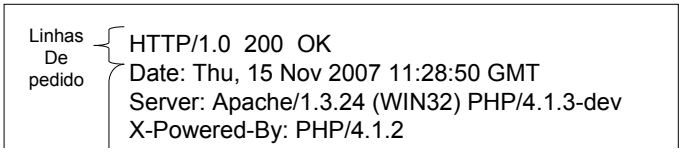


Figura 3.20 – Resposta de um Servidor

Contudo, para comunicar com o servidor do site utilizando bases de dados e gerar conteúdo dinâmico é necessário utilizar determinadas linguagens, como o *PHP*, entre outras.

3.5.3. Escolha do Módulo de GSM/GPRS

Pelas razões que se descrevem acima, a pilha de TCP/IP é uma característica essencial na escolha deste módulo. Como tal, e de entre uma enorme variedade de módulos, a escolha recaiu sobre um terminal da *Siemens*, o modelo TC65. Serão descritos, mais adiante, outros módulos e o porquê desta escolha.

Este módulo foi especialmente desenvolvido para ser embebido em diversas aplicações, dadas as suas diversificadas características como GPRS Classe 12, interfaces padronizadas (I^2C,SPI, ADC, RS232), pilha TCP/IP integrada, Java IMP 2.0: Apresenta ainda uma socket para Sim Card.

A pilha de TCP/IP integrada é uma característica de enorme relevância, pois desta forma é possível ficar-se a trabalhar na camada de aplicação, o que facilita muito o desenvolvimento do sistema na sua componente de *software*. Sem esta característica seria obrigatório a implementação da camada de rede e transporte por via de *software*, o que seria muito complicado.

Este módulo possui ambiente Java, o que permite executar software de aplicação directamente no processador do TC65. Ainda assim, esta característica não foi utilizada no desenvolvimento deste projecto. Refira-se, contudo, que é uma ferramenta muito importante para uma possível evolução do projecto.

Pode observar-se em maior detalhe as especificações deste módulo no Anexo I.

Na escolha do módulo de GSM/GPRS formam analisados ainda outros módulos, como o Siemens MC35i, o Fargo Maestro 20, o Fargo Maestro 100 e o Telit GT-64.

Destas propostas, as duas primeiras, MC35i e Maestro 100, foram imediatamente descartadas por não possuírem pilha de TFC/IP; o Fargo Maestro 100 possui todos as características necessárias, mas apresenta um custo superior ao modelo da Siemens escolhido.

Por fim, o Telit GT-64, que também possui todas as características necessárias com um preço igual, tem a desvantagem de ser um produto mais difícil encontrar no mercado, além de ser produzido por um fabricante quase desconhecido, pelo que não merece total confiança.

3.5.4. Problemas e Soluções

No desenvolvimento deste trabalho houve alguma dificuldade, nos primeiros momentos, na compreensão do funcionamento deste módulo, principalmente em interpretar correctamente as respostas do modem em cada situação.

Ora, a compreensão do seu funcionamento era essencial, visto que o microcontrolador, numa fase posterior, teria que ser programado para reconhecer cada uma dessas respostas.

Para combater esta dificuldade criou-se um pequeno programa em Visual Basic para comunicar com o módulo de GSM/GPRS, utilizando as portas RS232 de um computador pessoal.

3.5.5. Custo e método de aquisição do Terminal GSM/GPRS

O terminal custou 195 € e foi adquirido através de um distribuidor de equipamentos electrónicos, a Farnell.

3.5.6. Esquema de Ligação

Na Figura 3.21 é possível observar o esquema de ligação entre o terminal GSM/GPRS e o microcontrolador.

Este módulo utiliza uma interface de RS232 para comunicação. Os pinos de IGN (ignição) e RST (reset), situados na ficha de alimentação, foram conectados à massa, inibindo assim o seu uso.

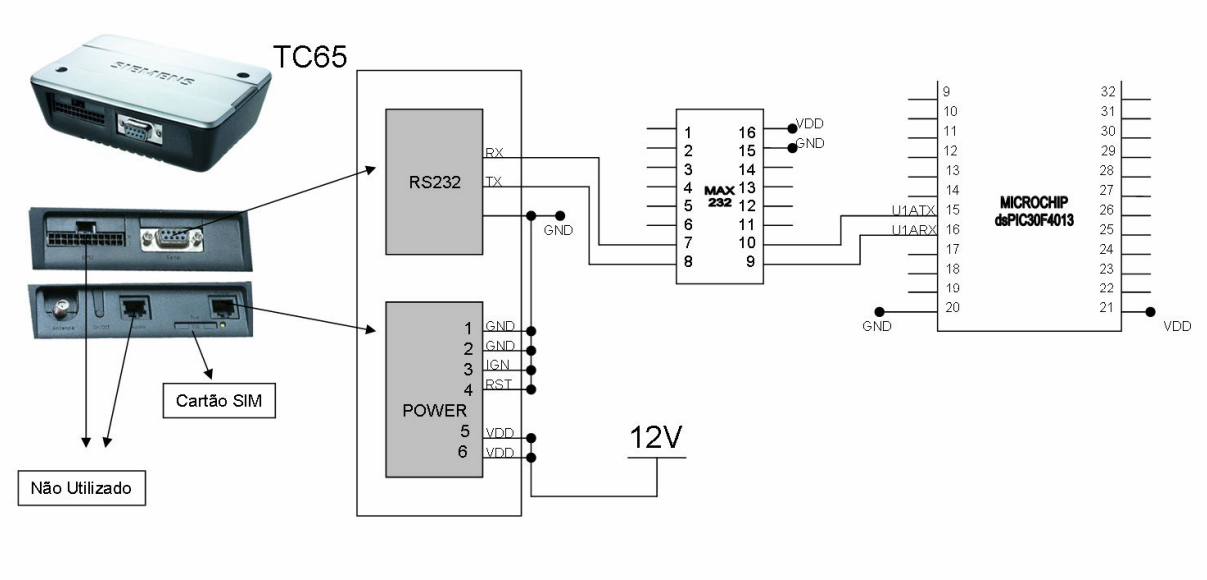


Figura 3.21 – Esquema de ligação do terminal GSM/GPRS ao microcontrolador

Para se ligar este módulo ao microcontrolador houve necessidade de utilizar um conversor (neste caso o max232) de RS232 para TTL, isto porque o microcontrolador apenas pode receber sinais TTL.

Na Figura 3.21 apenas são descritas as ligações principais, para uma análise mais pormenorizada das ligações pode-se analisar o Anexo III.

3.6. Sistema de localização – Módulo GPS

Uma vez que a estação a desenvolver é vocacionada para ser móvel, necessita de algo que a situe geograficamente.

Assim, utilizou-se um receptor de GPS. Este receptor fornece uma posição relativamente à Terra, referenciada ao Equador e ao meridiano de Greenwich. Traduz-se por três parâmetros: a latitude, a longitude e altitude.

3.6.1. Breve introdução ao GPS

O GPS, *Global Positioning System*, é um sistema de posicionamento por satélite, utilizado para determinação da posição de um receptor na superfície da Terra ou em órbita.

O sistema GPS foi criado e é controlado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, podendo ser utilizado por qualquer pessoa, gratuitamente, desde que disponha de um receptor que capte o sinal emitido pelos satélites.

Há dois tipos de serviço GPS: o *Standart* e o *Precision*, sendo a precisão a principal diferente entre estes dois serviços. O *Standart* tem uma precisão até 15m enquanto que o *Precision* apresenta uma precisão até 3m.

Inicialmente, só o serviço *Standart* estava disponível em regime aberto ao público em geral. Hoje em dia qualquer um dos serviços está disponível em qualquer parte do mundo e a qualquer pessoa.

O sistema é composto por três partes: a espacial, a de controlo e a do utilizador.

O sistema espacial é composto pela constelação de satélites. Actualmente existem 24 satélites em orbita a uma altitude de 500 Km. Estes satélites dão duas voltas à Terra por dia. Estão dispostos de modo a que qualquer ponto na Terra seja iluminado por 5 a 8 satélites.

O sistema de controlo é formado pelas estações terrestres dispersas pelo mundo na zona equatorial e é responsável pela monitorização das orbitas dos satélites, sincronização dos relógios atómicos, entre outros.

Por fim, o sistema do utilizador, que consiste num receptor que capta os sinais emitidos pelos satélites e que usa estas informações e triangulação para calcular a posição exacta do utilizador. Essencialmente, o receptor em terra compara o tempo que um sinal leva para ser transmitido pelo satélite e chega até si. A diferença de tempo entre a transmissão pelo satélite e a recepção mostram ao receptor a distância em que este satélite se encontra. Com a medida da distância de outros satélites, o receptor pode determinar a posição do utilizador.

Esta posição é dada em latitude, longitude e altitude, coordenadas geodésicas referentes ao sistema WGS84 (um dos sistemas em funcionamento).

A latitude é a distância ao Equador medida ao longo do meridiano de Greenwich. Esta distância mede-se em graus, podendo variar entre 0 º e 90 º para Norte ou para Sul.

A longitude é a distância ao meridiano de Greenwich medida ao longo do Equador. Esta distância mede-se, igualmente, em graus, podendo variar entre 0 º e 180 º para Este ou para Oeste.

A altitude num ponto da Terra é a distância na vertical à superfície de um geóide. Este é definido por uma esfera, com centro na Terra e um raio de 6378 km.

Para a obtenção de uma posição válida são necessários, pelo menos, quatro satélites. Contudo, quanto maior for o número de satélites, maior será a precisão do resultado obtido.

O GPS pode ainda funcionar em modo Diferencial, o DGPS. Este modo elimina erros sistemáticos do GPS, pois cruza os dados com estações fixas na Terra. Este modo aumenta consideravelmente a precisão do GPS, chegando a valores de 1 m, sendo por isso muito útil para trabalhos de cartografia

3.6.2. Escolha do Receptor de GPS

Na escolha do receptor de GPS teve-se em conta essencialmente o preço, tamanho e potência consumida.

A escolha recaiu sobre um módulo da Garmin. Esta foi a primeira e única escolha, visto ser uma marca de grande confiança e facilidade na sua aquisição, pois dispõe de distribuidor em Portugal.

Este módulo foi especialmente desenvolvido para ser embebido em aplicações como a presente, oferecendo uma excelente performance EMI/RFI[3] para uma fácil integração em sistemas que operarão rodeados de dispositivos de computação móveis e equipamento de telecomunicações.

Algumas das características estão descritas na Tabela 3.8.

Pode-se observar, da análise da tabela, que os seus tempos de aquisição são aceitáveis e de modo algum é um factor limitativo para o normal funcionamento da estação. Tem um consumo baixo, aproximadamente 390mW, o que é muito importante, pois é um componente que está sempre activo, excepto nos momentos em que a estação entra em *Standby*.

A interface por RS232 é uma especificação importante, pois permite uma fácil conexão com o microcontrolador. O seu tamanho e peso são extraordinariamente reduzidos, não sendo uma limitação para a dimensão da estação.

Este receptor pode funcionar em modo DGPS, *Differencial GPS*, o que faz aumentar muito a sua precisão.

[3] EMI/RFI (*Electromagnetic Interference/Rádio Frequency Interference*) é a interferência causada por um receptor de rádio ou outro dispositivo electrónico com radiação electromagnética emitida por uma fonte externa.

Tabela 3.8 – Características do Receptor de GPS

GPS 15H		
Serviço		**Descrição**
Tempo de Aquisição	**Reaquisição**	< 2s
	Quente	15s
	Frio	45s
	Auto Localização	5m
	SkySherch	5m
Precisão Do GPS	**Posição**	<15m
	Velocidade	0.1 Knot
Interface	**Port1**	RS232
Temperatura	**Operação**	-30º a 85º
	Desligado	-40º a 85º
Dimensões		35.56 x 45.85 x 8.31 mm
Peso		15g
Tensão Entrada		8 a 40 VDC
Corrente de Entrada		33mA @ 12V Corrente Nominal
Sensibilidade		-165dbW (mínimo)
Conector		8-pin LIF
Conector Antena		MCX

Para uma análise mais detalhada pode visualizar-se a sua *datasheet* no Anexo II.

3.6.3. Principio de funcionamento

O receptor de GPS disponibiliza uma interface RS232, formatada pelo protocolo *standart NMEA 0183.* O receptor envia os dados em formato assíncrono, tendo uma estrutura do tipo start bit + 8 bits + stop bit, a uma velocidade de 4800 bps (*bits per second*).

Segundo o protocolo utilizado, o receptor devolve a informação em tramas constituídas por um cabeçalho, seguida de vários parâmetros, onde consta a informação horária, localização, velocidade, entre outros.

No presente projecto adoptou-se a trama com cabeçalho $GPRMC (*Recommended Minimum Specific GPS/TRANSIT Data)*, pois devolve o mínimo de dados necessários.

Nesta trama recolhe-se informação sobre a posição em latitude, longitude e altitude, validade dos dados, informação horária, velocidade do receptor e o modo de funcionamento.

3.6.4. Custo e método de aquisição do Receptor de GPS

O receptor de GPS custou 52 €, directamente no revendedor da Garmin em Paço de Arcos, Portugal.

3.6.5. Esquema de ligação

Na Figura 3.22 é possível observar o esquema de ligação entre o terminal GPS e o microcontrolador. Este módulo utiliza uma interface RS232 para comunicação. Os pinos não conectados podem ficar em aberto. Como no componente utilizado na secção anterior, aqui tem que se utilizar um conversor (max232) de RS232 para valores TTL, pois o GPS está preparado para se ligar directamente a um computador.

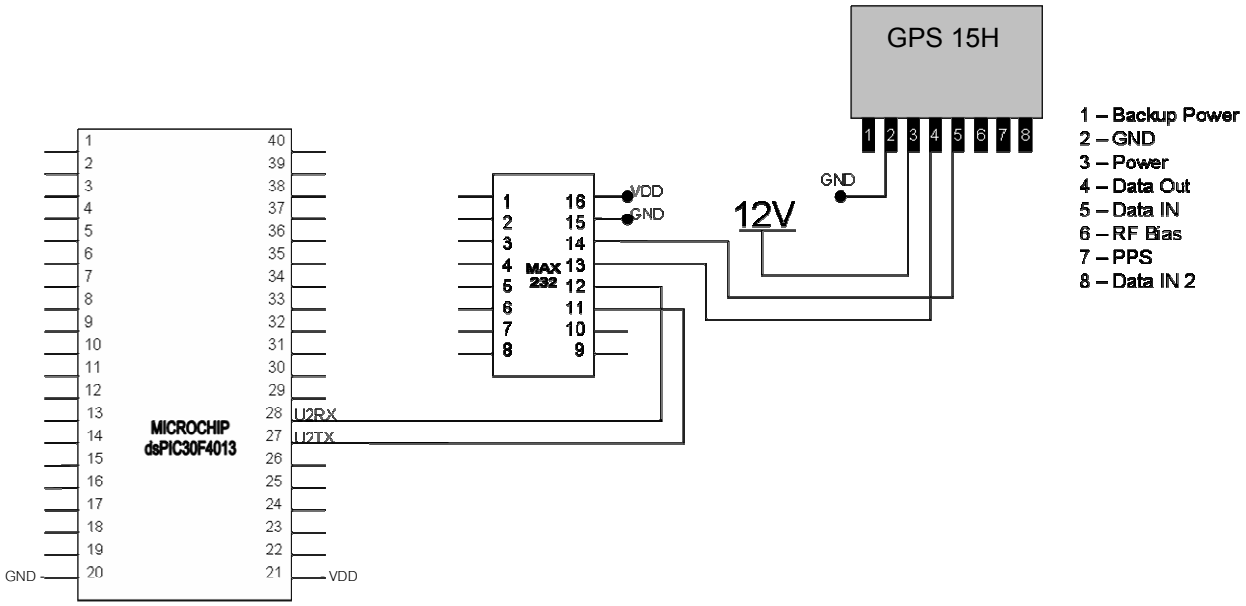


Figura 3.22 – Esquema de ligações entre o módulo de GPS e o microcontrolador

Na Figura 3.22 apenas são descritas as ligações principais, para uma análise mais pormenorizada das ligações pode-se analisar o Anexo III.

3.7. Memória Adicional

Devido á necessidade de se guardar uma grande quantidade de dados e garantir a sua manutenção em caso de falta de energia, utilizou-se uma memória.

Como tal, recorreu-se a uma *EEPROM (Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory)*, pois apresenta uma capacidade de armazenamento não volátil, ou seja, não perde os dados quando lhe é retirado a energia.

3.7.1. Características da memória

A memória utilizada tem 1024 Kbit disponíveis, interface por *SPI (Serial Peripheral Interface Bus)* e um consumo baixo, no máximo 7 mA a uma tensão de alimentação de 5,5 V e a um funcionamento de 20 Mhz.

Uma vez que a velocidade de escrita não é um factor determinante, pode-se baixar a frequência de escrita e assim diminuir ainda mais o consumo. Na Tabela 3.9 pode-se observar as principais características.

Tabela 3.9 – Características da memória utilizada

Memória 25LC1024	
Tensão Alimentação	2.5 a 5.5V
Max. Corrente Escrita (5.5V@ 20MHz)	5mA
Max. Corrente Leitura (5.5V@ 20MHz)	7mA
Max. Freq. Relógio	20MHz
Velocidade Escrita	5ms
Capacidade	1024Kbit
Resistência	1 000 000 ciclos (escrita por página)
Temperatura	-40°C to +85°C

3.7.2. Princípio de funcionamento

Esta memória está desenhada para se conectar directamente com o módulo SPI de um microcontrolador, como se pode observar na Figura 3.25. Esta interface usa um pino de relógio para sincronismo (*SCK* da Figura 3.25), um pino para envio de dados *(SDO*) e um pino para recepção de dados (*SDI*). Nesta montagem é também utilizado um pino de selecção da memória (*CS*).

O SPI do microcontrolador utilizado pode ser configurado em modo de 8 ou 16 bits.

A memória utilizada no presente projecto funciona com instruções de 8 bits e com uma frequência de relógio que pode ir de 1MHz a 20MHz. Neste projecto utilizou-se 5 MHz.

Acede-se ao dispositivo através do pino de *SDI*, no flanco ascendente do relógio.

Durante uma operação de escrita ou leitura, o pino de *CS* deve ser mantido ao nível lógico *Low* e o pino de *Hold* ao nível lógico *High*. Na Figura 3.23 e na Figura 3.24 apresentam-se os ciclos de escrita e leitura, respectivamente.

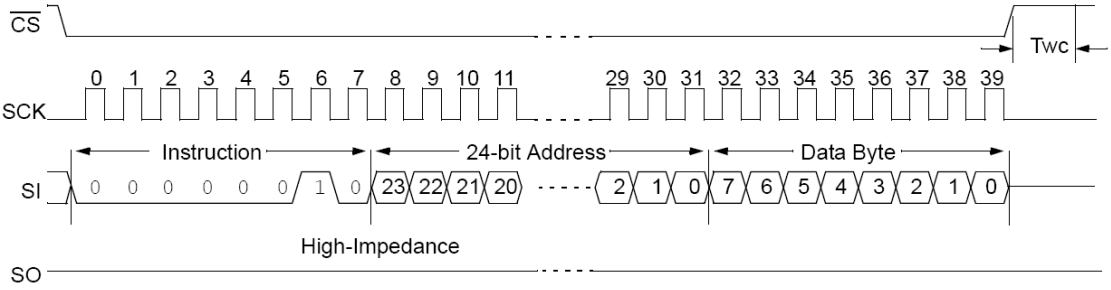


Figura 3.23 – Ciclo de escrita de um byte na memória [17]

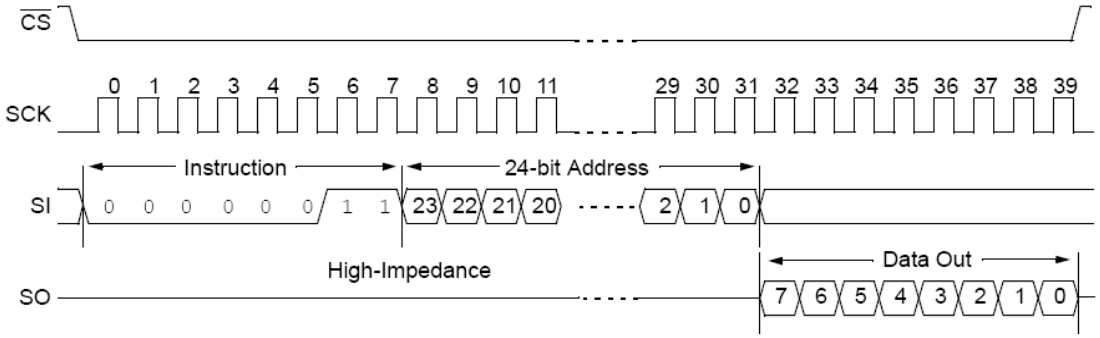


Figura 3.24 – Ciclo de leitura de um byte da memória [17]

Tanto na operação de escrita como na operação de leitura o processo a seguir é o mesmo: começa-se por enviar a instrução da operação a realizar (leitura, escrita, ler estado do registo, entre outros), de seguida envia-se 24 bits com o endereço ao qual se deseja aceder, e por fim, envia-se ou recebe-se o byte pelos pinos SI ou SO, respectivamente.

3.7.3. Esquema de ligação da memória ao microcontrolador

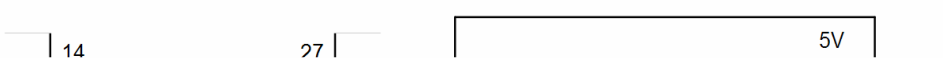


Figura 3.25 – Esquema de ligação da EEPROM

3.8. Sensor de Movimento

Com o objectivo de tornar o sistema totalmente autónomo e com uma boa eficiência energética, optou-se por desligar o equipamento quando este está algum tempo parado. Para o repor de novo em funcionamento, dotou-se o sistema de um sensor de movimento que detecta quando a estação entra de novo em funcionamento. Este sensor detecta pequenas vibrações e traduz essas vibrações em impulsos eléctricos.

3.8.1. Principio de funcionamento

Este sensor funciona como um interruptor, ou seja, quando não há vibração, este está fechado deixando passar qualquer sinal que esteja nos seus pinos. Por outro lado, quando há vibração o circuito fica em aberto. A duração destes impulsos é proporcional á força da vibração.

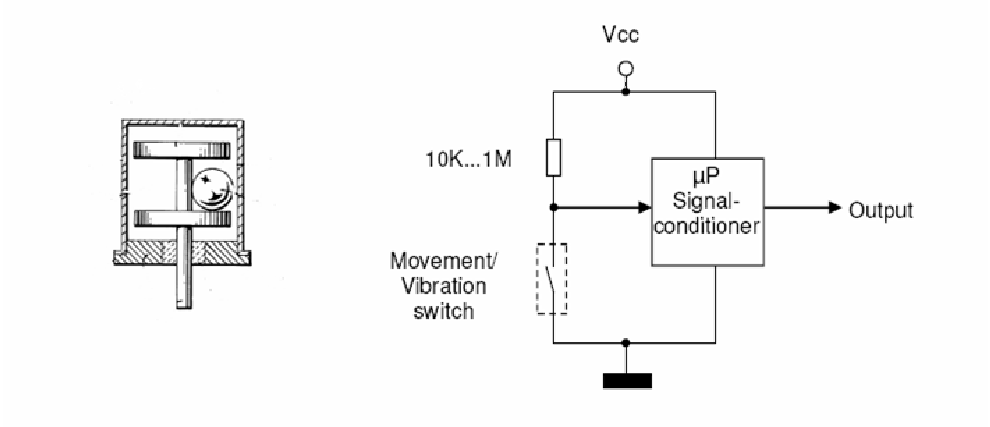


Figura 3.26 – Desenho do sensor de movimento utilizado no projecto e esquemático de ligação

3.8.2. Escolha do sensor de movimento

Na escolha do sensor de movimento teve-se em conta, essencialmente, a sensibilidade do sensor, visto que o sensor tem que detectar pequenas vibrações para ser totalmente viável. Um outro factor muito importante é o espaço ocupado pelo mesmo sensor

3.8.3. Esquema de ligação do sensor de movimento ao microcontrolador

De seguida apresenta-se o esquema de ligação do sensor ao microcontrolador. Utilizou-se uma resistência de *Pull-Down,* para impor o nível lógico "0" quando há vibração, ou seja, quando o sensor fica em circuito aberto, como se observa na Figura 3.27.

Ao nível do microcontrolador, utilizou-se uma porta digital que suporta interrupções, ou seja, sempre que há uma mudança de nível lógico na entrada do microcontrolador, este executa o código correspondente à rotina de interrupção que está associada a esta porta.

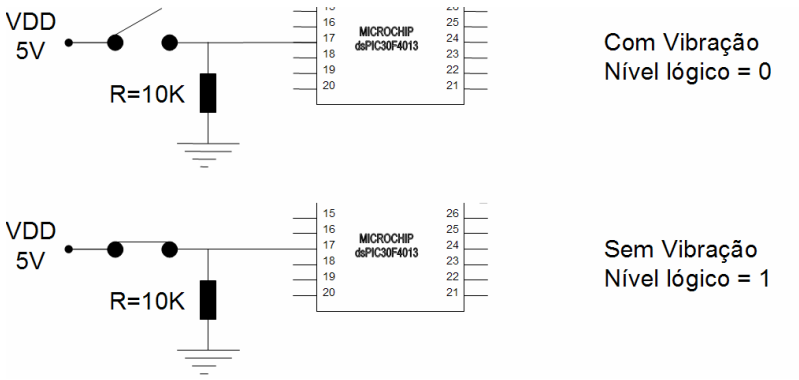


Figura 3.27 – Esquema de ligação do sensor ao microcontrolador

3.8.4. Custo e método de aquisição

O sensor foi adquirido numa empresa de venda de componentes electrónicos, RSAMIDATA e custou 4.54 €.

3.9. Alimentação

Ao nível da alimentação pretende-se que a estação seja completamente autónoma.

Para tal, utilizou-se um sistema fotovoltaico. Este sistema é constituído por dois painéis fotovoltaicos, um controlador de carregamento solar e uma bateria de 12 V com uma capacidade de 2 Ah.

Na Figura 3.28 apresenta-se um esquema de um sistema fotovoltaico idêntico ao utilizado neste projecto.

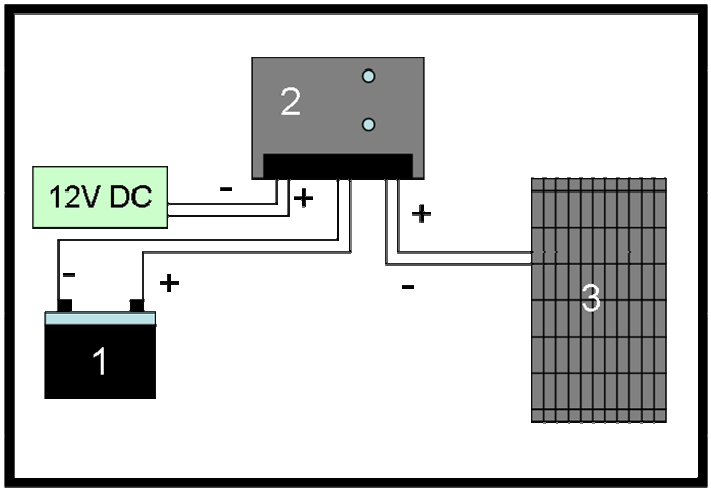


Figura 3.28 – Exemplo de um Sistema Fotovoltaico

1 – Bateria, 2 – Controlador de Carregamento solar, 3 – Painel Fotovoltaico

3.9.1. Painéis Fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos são dispositivos utilizados para converter a energia solar em energia eléctrica. Estes dispositivos são constituídos por células fotovoltaicas. Estas células são os elementos mais pequenos de um sistema fotovoltaico, produzindo, cada uma, uma potência muito baixa. De forma a aumentar esta potência deve-se juntar várias células em série ou paralelo, consoante se pretende aumentar a tensão ou a intensidade da potência produzida.

Existem três tipos de células: mono-cristalinas, poli-cristalinas e silício amorfo, as quais diferem entre si no método de fabrico e no rendimento obtido. As células de maior rendimento têm também os maiores custos de produção.

Na Tabela 3.10 observa-se os vários tipos de células e os respectivos rendimentos.

Tabela 3.10 – Rendimento eléctrico de vários tipos de células [12]

	Rendimento Típico	Rendimento Max. registado em aplicações	Rendimento Max. Registado em Lab.
Mono-Cristalina	12-15%	22.7%	24.0%
Poli-Cristalina	11-14%	15.3%	18.6%
Silício amorfo	6 - 7%	10.2%	12.7%

As células fotovoltaicas são constituídas por um material semicondutor, geralmente silício, e por materiais dopantes. O objectivo é a criação de campos eléctricos internos capazes de acelerar os pares electrão-lacuna criados por incidência dos fotões solares, de forma a criar uma corrente eléctrica, isto é, a converter directamente potência associada à radiação solar em potência eléctrica DC.

3.9.1.1. Principio de funcionamento

Para ocorrer uma corrente eléctrica é necessário que exista uma diferença de potencial entre duas zonas da célula, ou seja um campo eléctrico [2]. Para tal é necessário dopar o silício para assim alterar as suas propriedades eléctricas. Este processo de dopagem consiste na introdução de elementos estranhos ao silício, criando assim duas camadas na célula: uma do tipo *p* e outra do tipo *n.* Estas possuem, respectivamente, um excesso de cargas positivas e um excesso de cargas negativas, relativamente ao silício puro. Como elemento dopante do tipo *p* é utilizado o Boro, enquanto que no tipo *n* é utilizado o Fósforo.

Na região onde ocorre a junção destas duas camadas, designada junção *p-n,* ao existir fotões com energia suficiente para excitar os electrões da banda de valência para a banda de condução, estes são acelerados para um terminal negativo, enquanto as lacunas são enviadas para um terminal positivo, criando um campo eléctrico. Assim, quando existir um circuito externo que ligue os dois terminais, circulará corrente eléctrica.

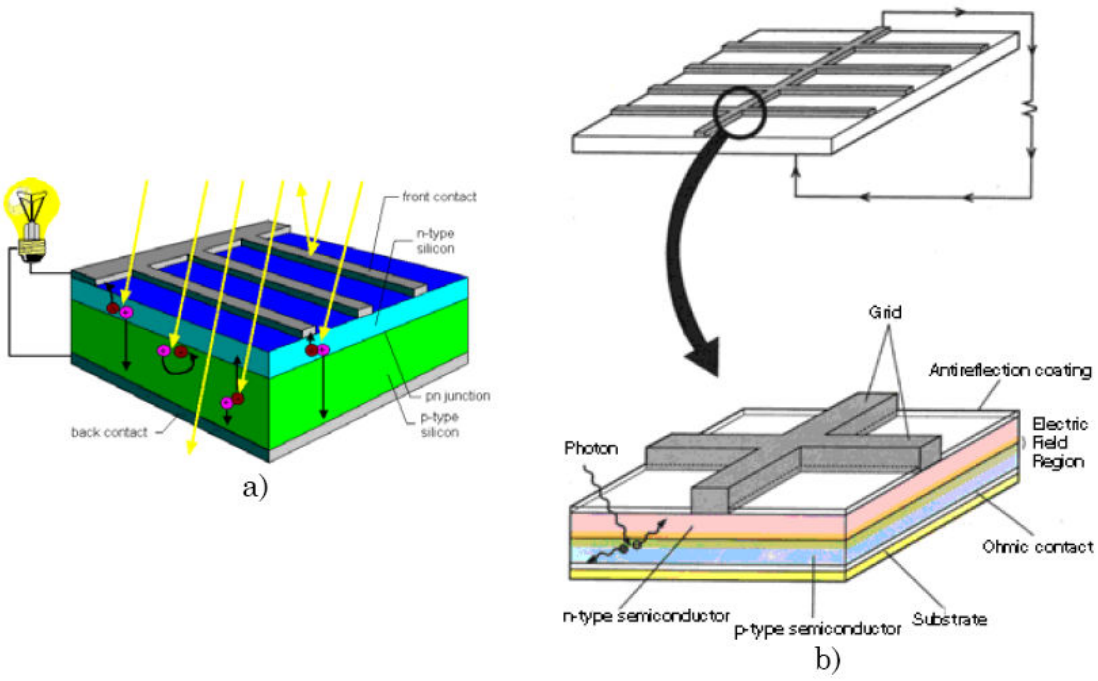


Figura 3.29 – a) Constituição interna de uma célula fotovoltaica típica, b) Pormenor da constituição das grelhas metálicas. [2]

Utilizando o modelo matemático simplificado, uma célula pode ser vista como um circuito eléctrico equivalente, descrito na Figura 3.30. No entanto, existe um modelo mais aproximado da realidade, chamado modelo detalhado e que inclui as perdas desde a fonte de corrente até à saída da tensão.

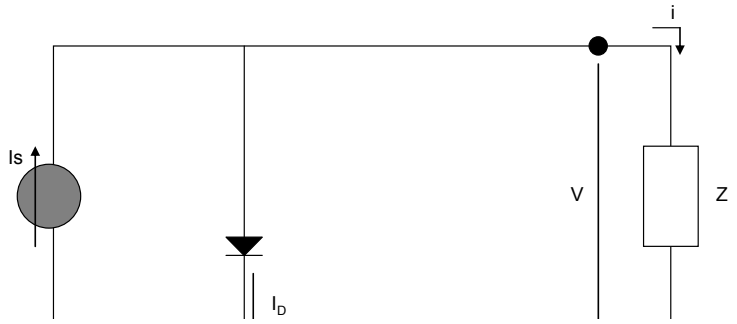


Figura 3.30 – Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica alimentando a carga Z.

A corrente eléctrica gerada pelo feixe de radiação luminosa é representada pela fonte de corrente. Este feixe é constituído por fotões que atingem a superfície activa da célula. A corrente é unidireccional e é constante para uma certa radiação incidente e temperatura.

A corrente I_D representa a junção *p-n* que funciona como um díodo. Esta corrente depende da tensão V aplicada aos terminais da célula.

A corrente I_D é dada por:

$$I_D = I_0 \cdot \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \tag{3.37}$$

em que

I_0 – Corrente inversa máxima de saturação do díodo

V – Tensão aos terminais da célula

m – Factor de idealidade do díodo (m = 1 – ideal, m > 1 – real)

V_T[4] – Potencial térmico, para condições normais V_T = 25,7 mV

Pela análise do esquemático apresentado na Figura 3.30, é possível verificar que a corrente que se fecha pela carga é:

$$I = I_S - I_D = I_S - I_0 \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \tag{3.38}$$

Nas características dos painéis solares, apresenta-se sempre valores para as situações de curto-circuito e circuito aberto. Será importante, portanto, analisar esses dois pontos de funcionamento da célula.

Quando acontece um curto-circuito exterior fica-se com

$$\begin{aligned} \mathrm{V} &= 0 \\ \mathrm{I_D} &= 0 \\ \mathrm{I} &= \mathrm{I_S} = \mathrm{I_{CC}} \end{aligned} \tag{3.39}$$

O valor de I_{CC} é assim o valor de corrente máximo na carga, sendo uma das especificações apresentadas nas características dos painéis.

Em circuito aberto tem-se que

$$\mathrm{I} = 0 \tag{3.40}$$

A tensão é a tensão máxima aos terminais da célula, sendo outra característica muito importante da célula.

[4] V_T=KT/q, onde K é a constante de Boltzman (K=1,38x10^{-23} J/ ºK), T é a temperatura absoluta da célula (25 ºC ou 298,16 K) e q a carga de um electrão em Coulomb (q=1,6x10^{-19} C).

Posto isto será interessante falar em potência eléctrica e rendimento.

A potência eléctrica é dada por [2]

$$\mathrm{P} = \mathrm{VI} = \mathrm{V}\left[\mathrm{I}_{\mathrm{CC}} - \left(I_0\left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1\right)\right)\right] \tag{3.41}$$

e o rendimento é dado por [2]

$$\eta = \frac{\mathrm{P}_{\max}}{\mathrm{A.G}} \tag{3.42}$$

onde A corresponde à área da célula e G à radiação solar incidente.

Os painéis fotovoltaicos apresentam uma característica de potência semelhante ao apresentado na Figura 3.31.

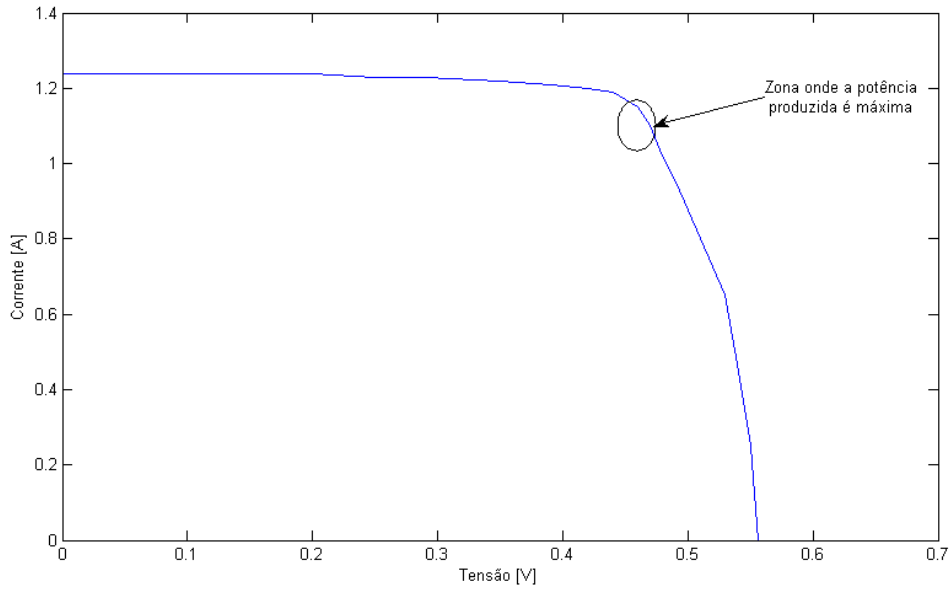


Figura 3.31 – Característica de potência de um painel fotovoltaico genérico [2]

Da observação da característica de potência, verifica-se que há um ponto óptimo de funcionamento para os painéis solares. É onde se verifica sempre o máximo de potência produzida. Este ponto varia consoante as condições de radiação e temperaturas apresentadas no momento. Existem controladores que mantêm o painel no ponto máximo, aos quais se dá o nome de MPPT (*Maximum Power Point Tracking*).

3.9.1.2. Escolha do Painel Fotovoltaico

De entre os vários tipos de painel, e devido ao pouco espaço disponível, o painel teria que ter o maior rendimento possível.

Assim, escolheu-se um painel fotovoltaico com células mono-cristalinas, pois é o tipo de célula que apresenta um melhor rendimento.

Foram utilizados dois painéis, cada um composto por 16 células em série, com uma eficiência de 15,5 %.

Tabela 3.11 – Características dos painéis fotovoltaicos (STC[5])

Silício Monocristalino		**Um Painel Fotovoltaico**	**Conjunto de dois painéis Fotovoltaicos**
Potência de Pico	P_{max}	2.43W	4.86W
Corrente máxima	I_{max}	310mA	310mA
Tensão máxima	V_{max}	7.84V	15.68V
Corrente de curto-circuito	I_{CC}	310 a 340mA	310 a 340mA
Tensão em circuito aberto	V_{CA}	9 a 10v	18 a 20V
Número de células	NSM	16	32
Comprimento	C	180mm	180mm
Largura	L	113mm	226mm

As características expressas na Tabela 3.11 são válidas para as condições normais de teste (STC), ou seja, a uma temperatura de 25 ºC e a uma radiação incidente de 1000 W/m^2. Como a radiação média anual em Portugal está na ordem dos 180 W/m^2 [2], estes valores têm que ser encarados com muita prudência.

3.9.1.3. Potência produzida

Determinar a potência produzida pelos painéis nesta estação é algo difícil de determinar. De facto, dada a mobilidade da estação, os painéis não têm uma posição fixa e podem entrar em zonas de sombra devido aos prédios, arvores, etc.

Contudo, a nível teórico, calcula-se a potência fornecida pelos painéis usando a radiação média mensal e anual em Lisboa e supondo que a estação não entra em zonas de sombra. Este será o valor máximo possível produzido pelos painéis nesta estação.

Para determinar a potência pode-se recorrer a dois métodos.

O mais rigoroso passa pela determinação de m (factor de idealidade do díodo), I_0, I_D, e por fim pela respectiva potência utilizando a expressão (3.41). Outra possibilidade é a utilização da expressão (3.42). É possível utilizar esta expressão uma vez que o fabricante do painel disponibiliza o rendimento esperado destes painéis.

[5] Standart Test Conditions – STC

Assim, pode-se reescrever (3.42) e obter

$$\mathrm{P}_{\max} = \eta.A.G \tag{3.43}$$

onde A é a área do painel e G é a radiação solar, tal como já tinha sido dito.

Na Figura 3.32 representa-se a variação da radiação média mensal em Lisboa. Percebe-se que nos meses de Inverno a radiação solar diminui consideravelmente, pelo que deixa antever que a utilização do valor da radiação média anual em (3.43) pode conduzir a valores erróneos.

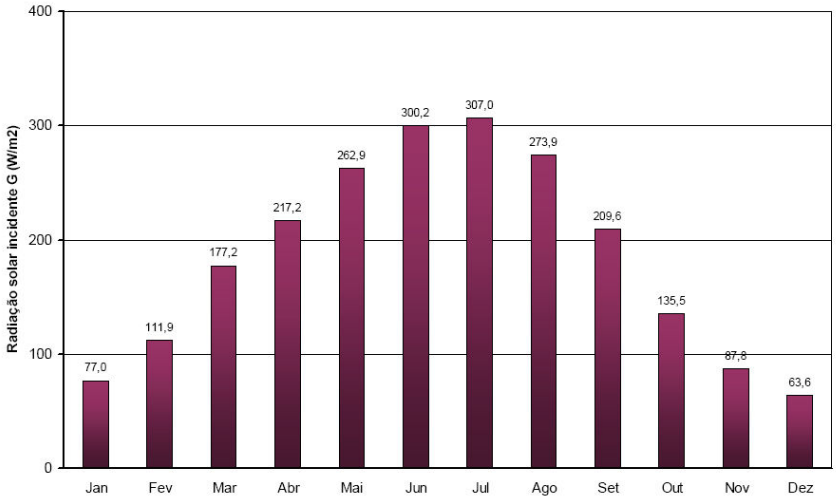


Figura 3.32 – Radiação média mensal em Lisboa (inclinação=latitude) [2]

Assim, determinou-se a potência produzida pelos painéis recorrendo a dois valores distintos de radiação: na pior situação, radiação verificada em Dezembro e utilizando a radiação média anual (G=185 W/m^2).

Para a pior situação tem-se uma radiação mensal de 63,6 W/m^2 e uma área de 0,0396 m^2. Sabendo que o painel tem um rendimento de 15,5 % e segundo a equação (3.43), fica-se com

$$\mathrm{P} = \eta \times A \times G \tag{3.44}$$

Utilizando a radiação média anual obtém-se

(3.45)

Esta potência entende-se como um valor constante ao longo do tempo, na realidade durante o dia, os painéis produzem e durante a noite não produzem qualquer energia.

3.9.2. Regulador de Carga

O Regulador de Carga é um componente indispensável para fontes alternativas de energia, Solar ou Eólica. Este dispositivo permite um perfeito controlo do limite de carga que os módulos de baterias podem receber, evitando a sua deterioração por sobrecarga e contribuindo para o aumento do ciclo de vida destes módulos.

3.9.2.1. Principio de Funcionamento do Regulador de carga

Dependendo do tipo de Regulador de carga, pode-se tirar o maior rendimento do painel solar. Existem genericamente três tipos de painéis solares:

Reguladores *Shunt* – Neste tipo de regulador a tensão da bateria define a tensão operacional do módulo fotovoltaico (normalmente. de 14 V) e só pode ser usado com fontes fotovoltaicas.

Reguladores Série – Estes reguladores podem ser usados unicamente com fontes fotovoltaicas e englobam geralmente os reguladores MPPT (*Maximum Power Point Tracking*).

Reguladores Universais ou de Diversão – Este tipo de regulador tem um funcionamento muito idêntico ao regular *shunt, m*as em vez de estabelecer um curto-circuito à fonte de energia quando a bateria está cheia, é ligada uma carga de diversão. Esta carga pode ser uma simples resistência, luz, aquecimento de água, entre outros, podendo-se assim aproveitar a energia que doutra forma era desperdiçada. Este regulador pode ser usado com qualquer fonte de energia renovável seja ela solar, eólica ou de outro tipo.

Dos três tipos de reguladores apresentados, o regulador universal destaca-se por poder ser utilizado com qualquer fonte de energia.

De forma a melhor entender o funcionamento de cada um destes reguladores, apresenta-se, na Figura 3.33 um esquemático de cada tipo de regulador.

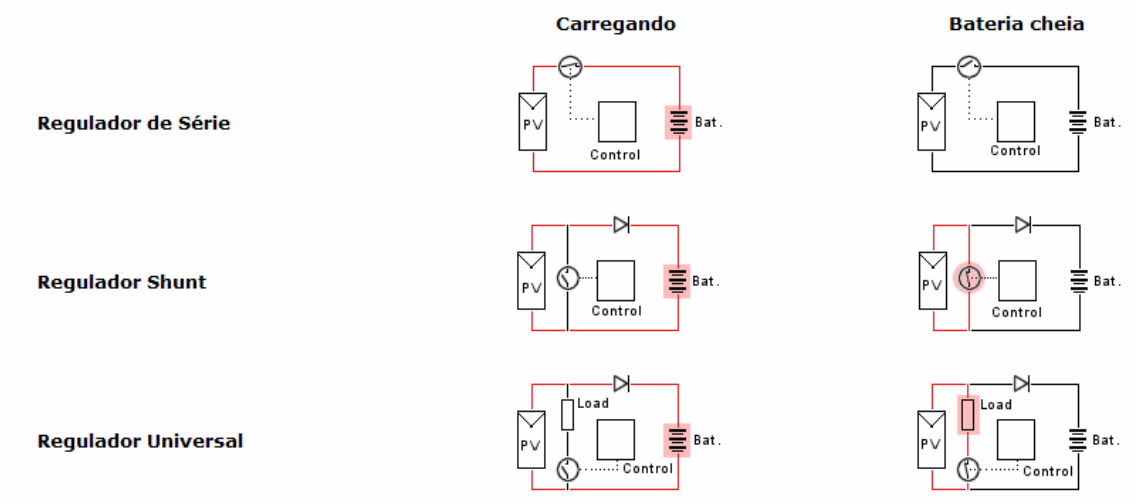


Figura 3.33 – Vários tipos de Reguladores solares e respectivos esquemáticos [13].

3.9.2.2. Escolha do Regulador de Carga

De entre uma grande variedade de controladores de carga, escolheu-se aquele que, tendo um preço aceitável, reúne todas as condições necessárias.

A escolha recaiu no regulador STECA, modelo Solsum 5.0, um regulador tipo *shunt* que tem protecção contra sobrecarga, compensação de temperatura e funciona a 12 e 24 V. Tem ainda de leds onde se pode visualizar o estado da bateria e de carregamento. O esquemático do regulador pode ser observado na Figura 3.34.

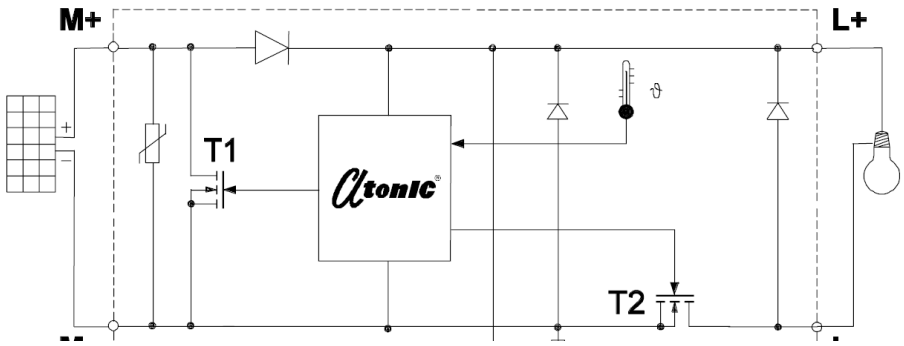


Figura 3.34 – Esquemático do regulador de tensão utilizado no projecto, Solsum 5.0 [11]

Como se observa da Figura 3.34, o transístor T1 é utilizado para gerar um curto-circuito na fonte de energia, neste caso, no painel solar, no caso de sobrecarga da bateria. O transístor T2 é utilizado para desligar a carga de modo a prevenir a descarga total das baterias.

Todo este módulo é controlado por um dispositivo da Atonic, V3.3.

Na Tabela 3.12 apresenta-se as características eléctricas do regulador em questão.

Tabela 3.12 – Características do Regulador Solar, Solsum 5.0 [11]

Regulador de Carregamento Solar	Solsum 5.0
Tensão de Sistema	12/24 V
Corrente solar Max.	5 A
Fusível	6.3 A
Bornes	2,5 mm²
Consumo próprio	4 mA

3.9.2.3. Custo e método de aquisição do Regulador de Carregamento Solar

O regulador de carregamento solar custou 35 euros e foi adquirido via internet na FFSolar de Aljezur.

3.9.3. Bateria

Como qualquer equipamento portátil, é necessário um acumulador de energia. Para o efeito, usa-se uma bateria selada de chumbo-ácido. A bateria acumula energia na forma química para depois a disponibilizar na forma eléctrica. A capacidade de armazenamento da bateria é expressa em amperes hora (Ah).

Numa bateria de 2 Ah, assume-se que esta consegue disponibilizar 200mA durante 10h, sendo que, contudo, a eficiência seja diferente para diferentes taxas de descarga.

3.9.3.1. Escolha da Bateria

Na escolha da bateria teve-se em atenção essencialmente o espaço disponível na caixa do equipamento, procurando-se utilizar uma bateria com a maior capacidade possível para o espaço existente.

Uma vez que o sistema está constantemente a variar entre os ciclos de carregamento e descarga, escolheu-se uma bateria de chumbo ácido, que melhor se adaptam a este tipo de operação.

3.9.3.2. Principio de funcionamento da bateria

Segundo [14], a bateria é constituída por um conjunto de acumuladores eléctricos recarregáveis, interligados convenientemente, utilizado para armazenar e libertar energia utilizando reacções químicas entre o chumbo e o ácido sulfúrico.

Na sua concepção mais básica, a bateria é constituída por duas placas, uma positiva, onde o material activo é o Peróxido de Chumbo (PbO_2) e outra negativa, onde o Chumbo metálico é o material activo. Estas placas estão mergulhadas num electrólito, constituído por uma solução de ácido sulfúrico (SO_4H_2) e água (H_2O), isoladas por um separador específico, um material isolante mas, ao mesmo tempo, esponjoso de modo a permitir o fluxo de alguns iões (SO_4 e H_2). Este fluxo de iões vai dar origem, por sua vez, a uma corrente eléctrica.

3.9.3.3. Problemas e Soluções

No decorrer do projecto houve a necessidade de carregar a bateria.

Como não se dispunha de carregador automático, optou-se por fazer um carregamento manual. Para tal, avaliou-se o ciclo de carregamento da bateria e os pontos fundamentais do processo.

A bateria é carregada introduzindo uma corrente eléctrica, designada corrente de carga. Todavia a bateria não armazena essa carga passivamente, ou seja, desenvolve uma certa repulsão a esta corrente. Como tal, é necessário ir ajustando a corrente e tensão de carga para obter uma carga perfeita, sem danificar a bateria.

Uma operação de carga inicial divide-se em três fases: corrente constante, tensão constante e por fim *float.* Na Figura 3.35 pode-se observar a curva da corrente e tensão em cada uma destas fases.

Na primeira fase, a corrente é mantida constante enquanto a tensão sobe até se dar a decomposição do electrólito. Aqui a corrente deve ser 10 % do valor da carga da bateria (uma bateria de 100 Ah deve ser carregada a 10 A) e a tensão pode subir até aos 14,4 V numa bateria de 12 V.

Na segunda fase, a tensão tem que ser mantida nos 14,4 V, sendo que é necessário ir diminuindo a corrente até aproximadamente 1% do valor da carga da bateria: Neste ponto a carga da bateria está completa.

A terceira e última fase serve para manter a carga da bateria a 100%, neste ponto a tensão deve baixar para os 13.8V e a corrente deve ser aproximadamente nula.

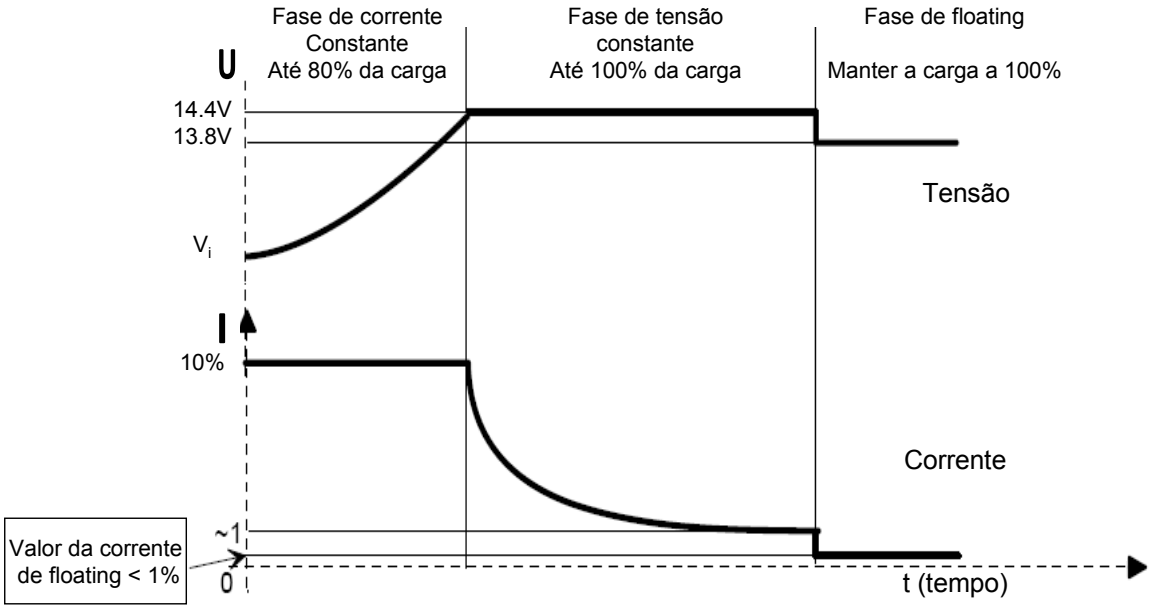


Figura 3.35 – Fases de Carregamento de uma bateria

Para conseguir realizar este procedimento utilizou-se uma fonte de alimentação comandada por corrente e um multímetro.

Depois de uma montagem adequada foi possível realizar o carregamento completo da bateria.

3.9.4. Tensões Utilizadas

Neste projecto utilizaram-se vários níveis de tensão. Para o microcontrolador, Max232 e memória (EEPROM) utilizaram-se 5 V, na alimentação dos sensores de gases utilizou-se 9 V, no GPS e Terminal de GSM/GPRS utilizou-se directamente a tensão da bateria (12V). Neste último caso, houve a possibilidade de utilizar directamente a tensão da bateria porque os equipamentos possuem regulador interno.

3.9.4.1. Tensão de 5 Volts

Para a obtenção dos 5 V utilizou-se um conversor DC-DC. Este tipo de conversores é utilizado para mudar o valor da uma tensão, seja para um valor mais baixo (*Buck*) ou para um valor mais alto (*Boost*).

Para este efeito poder-se-ia ter utilizado um regulador linear do tipo 7805, mas este tipo de componente dissipa energia para baixar a tensão, visto que o funcionamento é aproximado ao de um divisor resistivo. Uma vez que é necessário baixar de 12 V para 5 V, a energia dissipada seria enorme.

Na Figura 3.36 apresenta-se um esquema de um regulador linear.

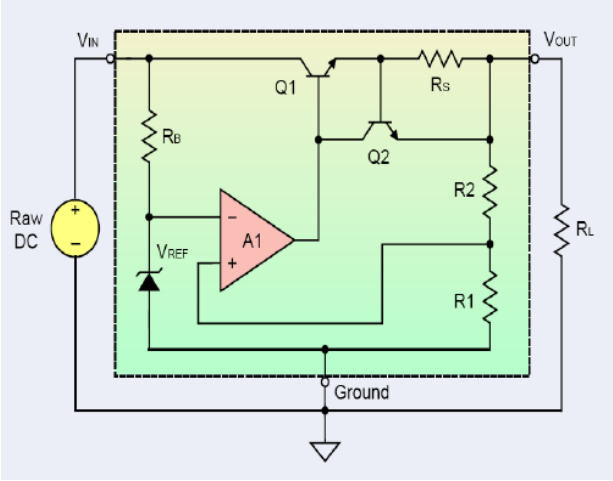


Figura 3.36 – Exemplo de regulador linear [18]

Um conversor DC-DC utiliza componentes indutivos, capacitivos e sinais com alta-frequência para gerar a tensão desejada.

Na Figura 3.37 apresenta-se um esquema de um conversor *Buck*, também conhecido como *Step Down*, que converte o sinal para um nível de tensão inferior.

Analisando a Figura pode-se salientar os seguintes factores: o interruptor S1 é concretizado com recurso a um transístor e a um circuito de comando, que comuta o sinal a uma frequência elevada. A frequência a que este interruptor varia irá influenciar a capacidade de armazenamento da bobina, ou seja, para se diminuir a dimensão da bobina (e por sua vez diminuir a capacidade de armazenamento), a frequência tem que aumentar.

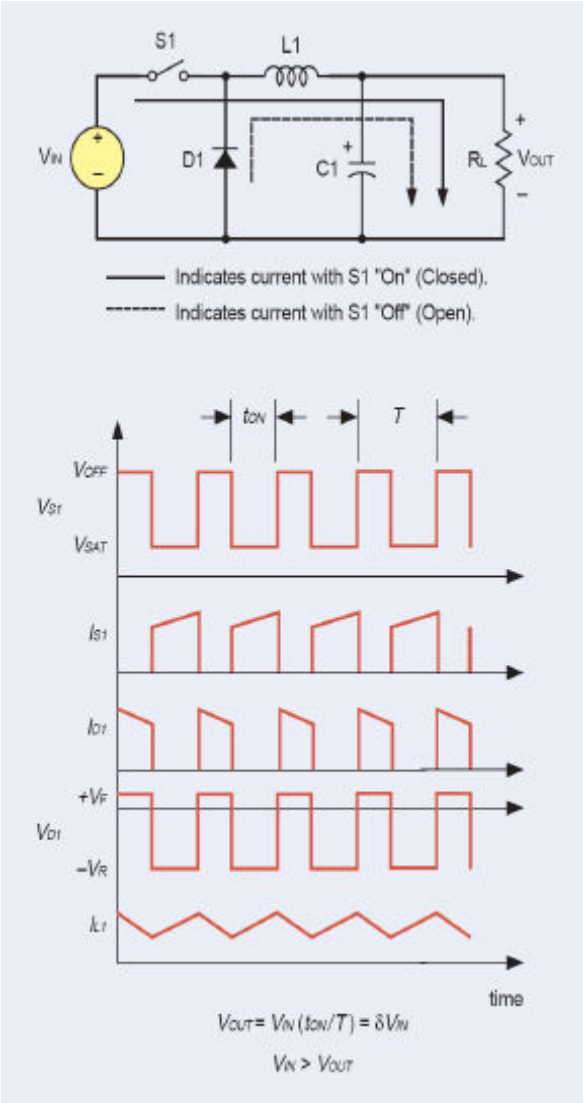


Figura 3.37 – Esquema de um conversor *Buck, Step Down* e respectivos sinais [18].

A tensão de saída está directamente relacionada com o tempo em que interruptor está activo, nomeadamente

$$V \quad V \left(t_{on} / \right) \tag{3.46}$$

onde é o tempo em que o interruptor está activo e o período.

3.9.4.2. Tensão de 9 Volts

Dado que a tensão de 9 V é um valor próximo da tensão base (12 V) recorreu-se a um regulador linear. Como foi dito anteriormente, este regulador dissipa energia ao baixar a tensão, mas como a diferença de tensão é pequena e a corrente que é necessário debitar é extremamente baixa, não se observa grande vantagem na utilização de um conversor DC-DC.

3.9.4.3. Tensão de 12 Volts

A tensão de 12 V foi obtida directamente da bateria. É certo que o valor da bateria varia ligeiramente, mas todos os componentes que utilizam esta tensão possuem regulador interno. Logo, tal variação não afectará o seu correcto funcionamento.

3.10. Esquemático de ligação dos Módulos

Na Figura 3.38 demonstra-se a ligação entre todos os módulos e a respectiva interface utilizada.

Os sensores de temperatura e gases ligam ás entradas do ADC, o terminal de GSM/GPRS liga á UART 1 (RS232), o receptor de GPS liga à UART 2 e por fim a memória liga aos pinos do SPI da microcontrolador.

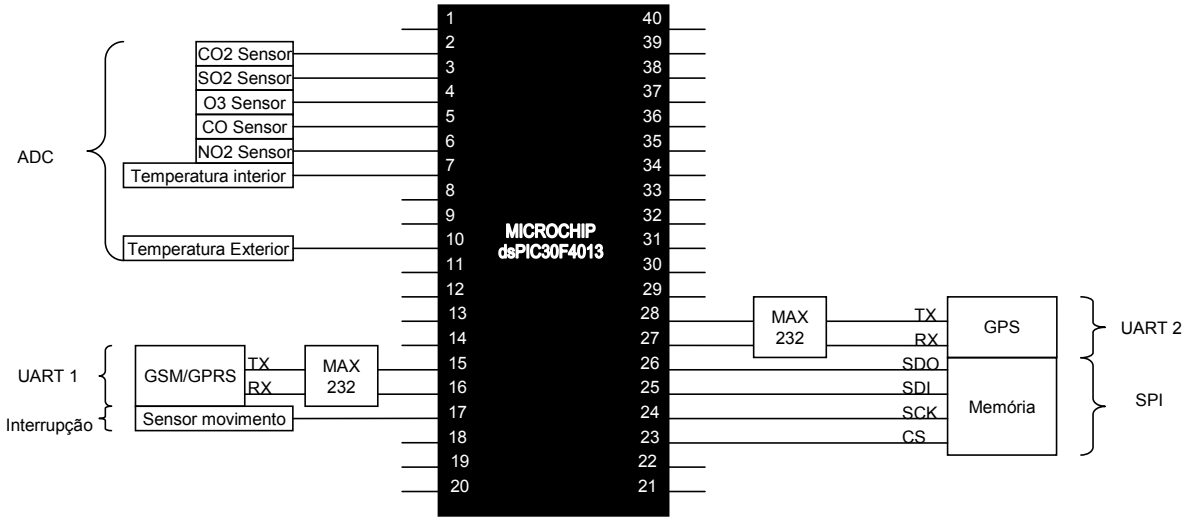


Figura 3.38 – Esquemático de ligação dos vários módulos

4. Software

O *software* desenvolvido no âmbito deste projecto divide-se em duas partes principais: a Estação e o Servidor.

Ao nível da estação, todo o *software* foi desenvolvido para o microcontrolador programável. Este *software* foi desenvolvido em linguagem C, utilizando o ambiente de trabalho MPLAB.

Ao nível do servidor, desenvolveu-se *software* para trabalhar com o servidor de Internet e com a base de dados, utilizando-se as linguagens *HTML*, *PHP* e *SQL*.

O *HTML* é uma linguagem de marcação[6] desenvolvida para criar páginas da Internet. PHP é uma linguagem de programação a ser interpretada por um descodificador e serve essencialmente para gerar conteúdos dinâmicos nas páginas Web. O *PHP* é também utilizado para comunicar com bases de dados utilizando *SQL*, que é uma linguagem virada unicamente para a gestão de base de dados.

[6] Linguagem de Marcação é uma linguagem onde é adicionado um conjunto de códigos a um texto de forma a caracterizar-lo.

4.1. Estação

4.1.1. Principio de funcionamento

Na Figura 4.1 apresenta-se um fluxograma com o funcionamento geral da estação.

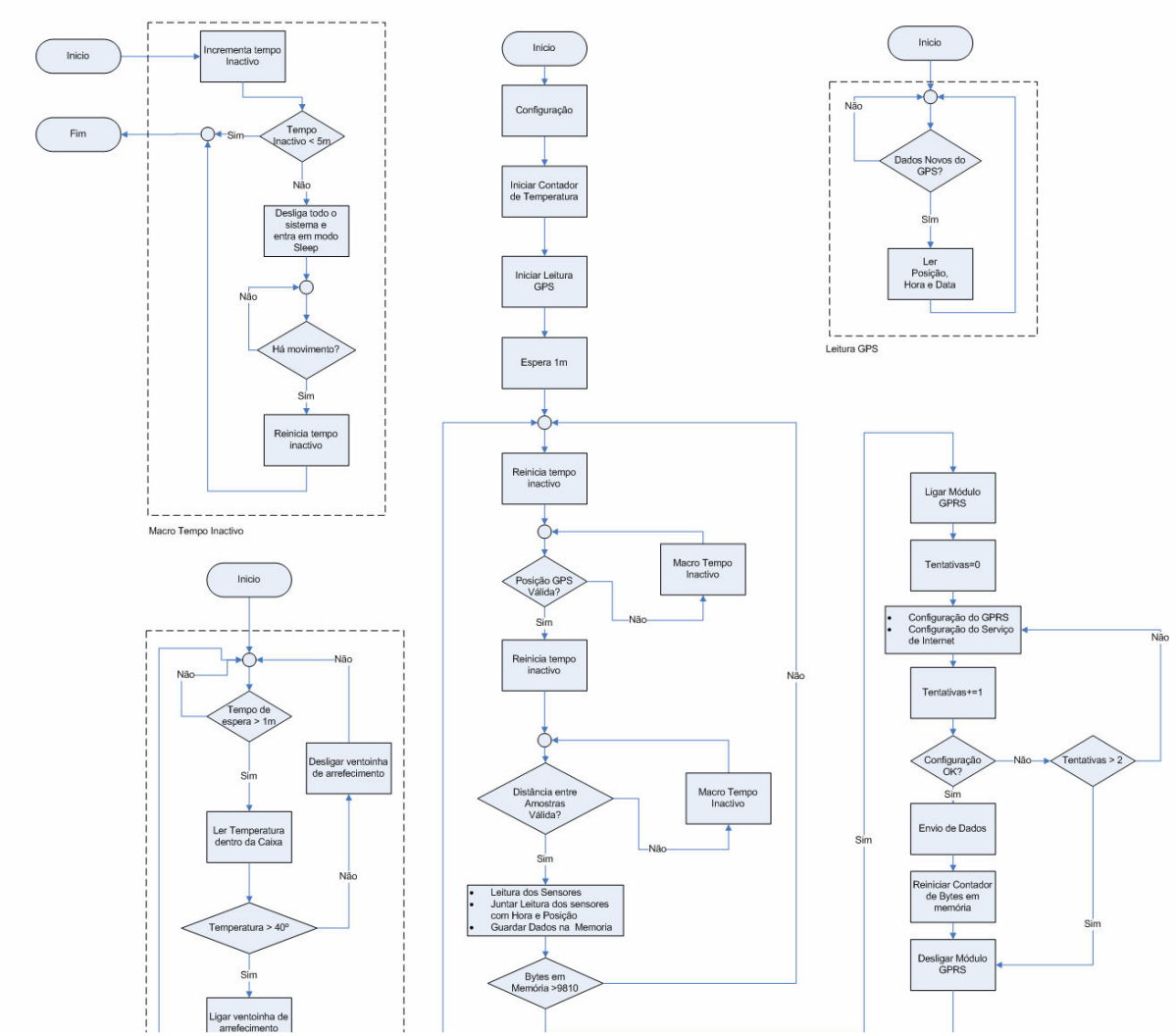


Figura 4.1 – Fluxograma de funcionamento da estação

Quando o sistema é reiniciado, o microcontrolador configura todos os portos e interfaces de comunicação. De seguida, são configurados os temporizadores e o conversor de sinal analógico para digital.

Foram utilizados dois temporizadores, um deles é utilizado para activar um LED, onde se pode observar o estado de funcionamento da estação pela variação da frequência com que este pisca. O segundo temporizador referido é utilizado unicamente para uma função de d*elay*.

Voltando ao LED onde se observa o estado de funcionamento da estação, este encontra-se permanentemente acesso quando a estação está em standby, ou seja, a estação entrou em modo de economia; se o LED a piscar lentamente, com aproximadamente uma frequência de 0,5 Hz, indica que o sinal de recebido do GPS está inválido (possivelmente por estar numa zona recepção de sinal) e, como tal, não retira amostras enquanto essa situação se mantiver. Por fim, o LED a piscar rapidamente, que indica que a estação está à espera de percorrer a distância pré definida para assim recolher uma nova amostra.

O ADC foi configurado para funcionar a uma frequência de amostragem de 31,7 kHz e como tensão de referência são utilizados os 5 V.

Neste ponto, o microcontrolador tem todos os portos activos e as interfaces prontas a receber ou enviar dados. No passo seguinte é lido da memória o número de *bytes* nela guardados. Normalmente este número estará a zero, salvo casos excepcionais em que houve uma falha de energia. A variável que controla o número de dados em memória é então inicializada com o valor lido.

Quando tudo está inicializado, o microcontrolador liga todos os periféricos. Entenda-se por periféricos o receptor de GPS, amplificadores de instrumentação e todos sensores relativos aos parâmetros do ar. Para melhorar a eficiência energética, o módulo de GSM/GPRS só é iniciado enquanto existirem dados para enviar.

O receptor de GPS, uma vez ligado, envia, a cada segundo, informações para o microcontrolador. Através do uso de interrupções, este lê o *buffer* do UART assim que houver dados disponíveis

Num dos parâmetros dos dados enviados pelo receptor de GPS encontra-se a validade dos dados. Enquanto os dados forem considerados inválidos não se avança para a próxima operação. Assim que os dados forem válidos, o microcontrolador retira destes a data e posição geográfica actual. Esta operação de leitura dos dados do GPS é realizada ininterruptamente e de forma “paralela” ao resto das operações.

De seguida, calcula-se a distância entre a posição actual e a ultima posição guardada. Esta posição é referente ao último local onde foi recolhido a informação dos sensores. Quando esta distância ultrapassar os 200 m (valor determinado pelo projectista e que pode ser alterado facilmente), o microcontrolador vai ler os dados de cada um dos sensores e proceder ao tratamento dos dados. Este tratamento será abordado na subsecção 4.1.2.

Este ciclo. constituído pela verificação da validade dos dados, seguido do cálculo da distância entre as posições e por fim a leitura dos sensores, repete-se sempre que a estação estiver em funcionamento.

Para uma melhor eficiência energética, sempre que os dados do receptor de GPS permaneçam inválidos durante cinco minutos, ou a estação demorar mais que cinco minutos para percorrer os 200m, o microcontrolador desliga todos os periféricos e entra em modo *Sleep*. Neste modo o consumo de energia por parte do microcontrolador é menor, podendo ser reactivado por uma interrupção externa. Para gerar esta interrupção utilizou-se um sensor de movimento que emite um sinal sempre que é detectado alguma oscilação. Como se prevê que a estação circule em cima de um

veículo, assim que este mexer irá activar o sensor de movimento, alterando o valor numa entrada do microcontrolador e consequentemente retirando o microcontrolador do modo *Sleep*.

4.1.2. Tratamento dos Dados Obtidos

Em cada amostra recolhida tem-se uma hora, uma coordenada de latitude e longitude, o valor dos cinco sensores dos gases e o valor do sensor de temperatura.

Uma vez que os dados são enviados através de um serviço de Internet usando GPRS e este módulo não pode estar consecutivamente ligado de modo a maximizar o rendimento energético, empregou-se uma memória auxiliar para guardar os dados.

O GPRS é pago aos pacotes de 1kB, 10 kB ou 100 kB, dependendo do tarifário escolhido. Neste projecto utilizou-se um tarifário com pacotes de 10 kB, de modo a que a informação disponível no site possa estar a mais actualizada possível.

Em http://www.empresas.vodafone.pt/tarifarios/dados/DadosFax.htm é possível observar em pormenor um possível tarifário e todas as suas características.

Apesar de se enviar o pacote assim que este esteja preenchido, é necessário a presença de uma memória para guardar a informação de vários pacotes, pois pode ocorrer uma indisponibilidade da rede que impossibilite o envio do pacote. Assim, a estação não tem que ficar "parada" enquanto a situação normaliza, guardando sistematicamente os dados na memória.

O microcontrolador recolhe os dados de todos os dispositivos, compacta esses dados de acordo com o formato apresentado na Figura 4.2 e 4.3, e envia esses dados para a EEPROM.

Uma posição da memória refere a quantidade de dados inseridos na memória, para assim garantir que, numa situação de falha de energia, não haver perda da informação já guardada. O microcontrolador quando inicia, lê esse número e contínua a guardar os dados a partir dessa posição.

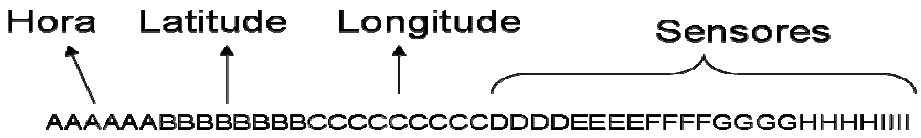


Figura 4.2 – Formato de uma trama de dados

De forma a minimizar a memória ocupada e a minimizar os gastos no envio, a data só se regista na primeira trama, com o formato especificado na Figura 4.3.

Figura 4.3 – Formato da primeira trama de dados

Depois de se obter duzentas e sete (207) amostras, perfaz-se um total de 9810 bytes, o tamanho necessário para preencher um pacote de dados do GPRS. Quando este pacote fica completo, o microcontrolador configura o módulo de GPRS e envia os dados: No Capítulo 4.1.3 o envio de dados será estudado em mais pormenor.

Caso este envio seja concretizado com sucesso, o microcontrolador reinicia a posição de memória que regista o número de dados presentes. Caso contrário, este contador não é reiniciado e, na próxima vez que enviar dados, envia os dois pacotes e assim sucessivamente até aos 13 pacotes de armazenamento, que é o máximo que esta memoria suporta. Se ainda assim não fosse possível enviar os dados os pacotes mais antigos iriam ser sobrepostos por novos dados.

4.1.3. Envio de dados – *HTTP* e Método *POST*

Como foi dito anteriormente, os dados são enviados por *HTTP*, utilizando-se o método *POST*. Devido à quantidade de dados a enviar, utiliza-se o corpo da mensagem.

Os dados são enviados em várias variáveis, cada uma com 1810 bytes. As várias variáveis encontram-se no corpo da mensagem separados por um carácter "&": Tal disposição adoptada pode ser visualizado na Figura 4.4.

```
POST /add.php HTTP/1.1
Accept: image/gif, image/x-xbitmap, */*
Accept-Language: en-gb,pt;q=0.5
Accept-Encoding: gzip, deflate
User-Agent: Mozilla/4.0 (compatible)
Host: localhost:79
Connection: Keep-Alive


aa=150323021007123456781234567 89…. &b=15052
1512323465234….&c=135322345…
```

Figura 4.4 – Exemplo de cabeçalho e corpo da mensagem

Esta informação é então enviada do cliente (Módulo de GPRS) para um servidor. Este processa a informação e guarda-a de modo conveniente para ser posteriormente consultada. O modo como esta informação é processada e guardada irá ser abordada no Capítulo 4.2.

4.1.4. Problemas e Soluções

Durante o desenvolvimento do software para o envio e recepção de dados, na estação e no servidor, respectivamente, uma dificuldade verificada foi o acerto de todos os bytes enviados. Para combater esta situação utilizou-se um analisador de protocolos, também designado por *sniffer, Ethereal.* Este software é gratuito e pode ser descarregado directamente no site da *Ethereal* (www.ethereal.com).

Com este software é possível ver todos os pacotes que são enviados e recebidos pelo computador. È possível ver também os protocolos utilizados e métodos, entre outros.

Na Figura 4.5 pode-se ver um exemplo de utilização deste software.

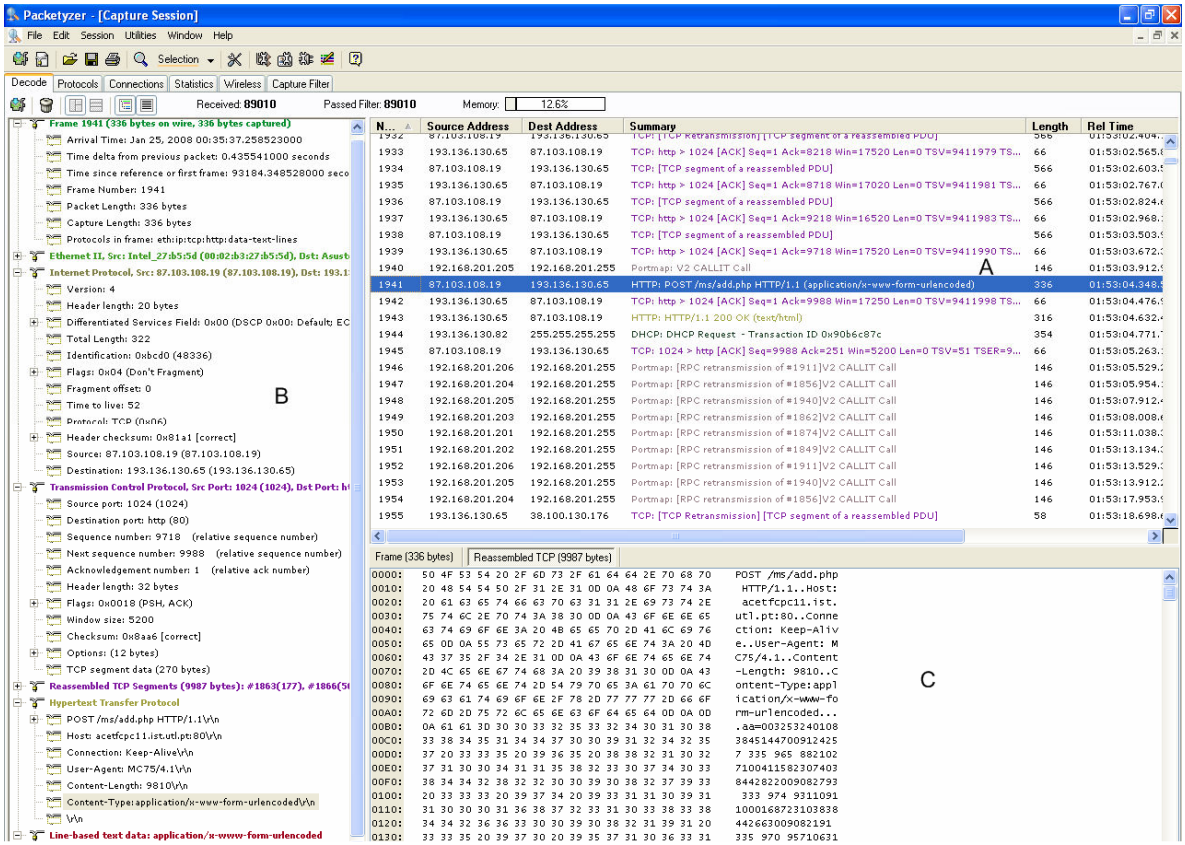


Figura 4.5 – Imagem do ambiente do programa Packetyzer

Analisando os dados disponibilizados na Figura 4.5, observamos que na zona A estão representadas todas as comunicações com o servidor, assinalando-se a azul a comunicação feita pelo modem da estação aquando do envio de dados.

Na zona B, pode-se observar todas as características da comunicação do modem e, por fim, na zona C, todos os dados enviados, onde se visualiza o cabeçalho e o corpo da mensagem onde estão presentes os dados enviados.

Com esta ferramenta é extremamente fácil compreender o estado da comunicação e assim detectar possíveis erros. Tornou-se assim numa verdadeira mais valia durante o período de teste.

Uma outra dificuldade foi conseguir analisar todos os sinais dentro da estação, estando esta em pleno funcionamento no cimo de um veículo. Para combater esta dificuldade foi desenvolvida uma base de teste para fazer *debug* de todos os sinais entre os vários componentes da estação. Esta base recebe todos os sinais utilizados dentro da estação para facilitar a procura de eventuais erros. Uma outra funcionalidade desta base é a possibilidade de ligação a um programador da Microchip ICD2, de modo a ser possível mudar o *firmware* da estação sem ser necessário a abrir. Neste base tem-se os sinais enviados pelo microcontrolador para o terminal de GSM/GPRS, os dados enviados pelo módulo de GPRS para o microcontrolador e por fim os dados enviados pelo módulo de GPS.

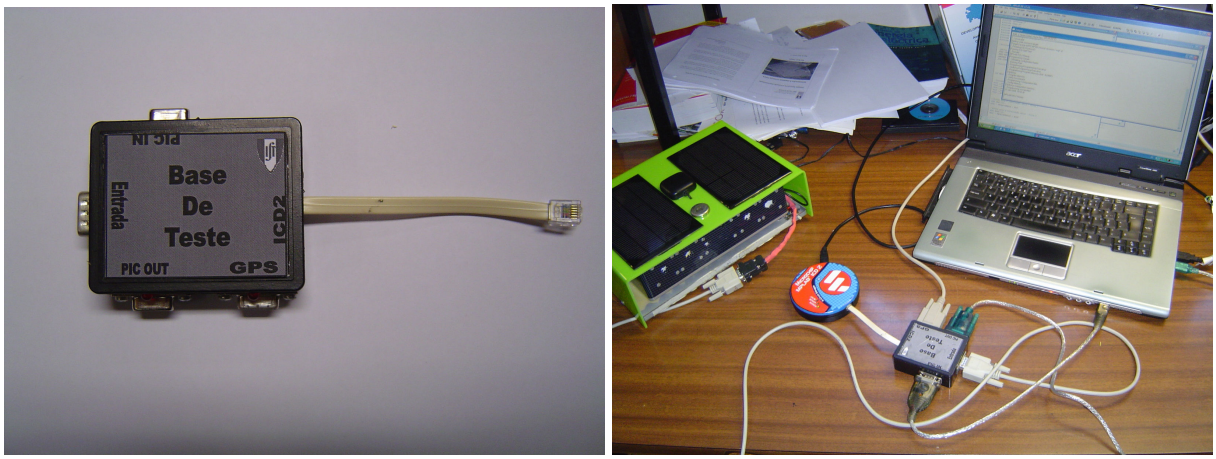


Figura 4.6 – Base de teste e exemplo de montagem

Esta base é essencial para fazer *debug* no caso de algo não funcionar como previsto, pois consegue-se ter todos os sinais no computador, sem haver necessidade de abrir a estação.

4.2. Servidor

Um servidor é um sistema de computação que fornece serviços a uma rede de computadores. Esses serviços podem ser de diversa natureza, como por exemplo arquivos, Web, mail, entre outros.

Nesta aplicação apenas foi necessário um servidor Web. Para realizar este tipo de servidor, não é necessário nenhum computador com características especiais. Um computador simples com uma ligação permanente à Internet e *software* específico, concretiza as especificações na perfeição.

4.2.1. Equipamento e Software

Neste projecto utilizou-se um computador pessoal fixo, formado por um processador *Pentium 4* a 3.2 GHz com 1 GB de memória RAM. Estas características superam os requisitos mínimos com larga margem.

Em termos de software, recorreu-se a um servidor Web da Apache, versão 1.3.24 para *Windows* a 32 bits. Este software é livre, podendo ser descarregado da página da *Apache*.

Para o processamento dos dados e carregamento na base de dados, utilizou-se PHP e MySQL. Para o PHP utilizou-se a versão 4.1.2 para Windows e para o MySQL a versão 3.23.49, também para Windows.

4.2.2. Armazenamento dos Dados

Tendo em vista o processamento de dados recebidos por *HTTP* e posterior armazenamento, desenvolveu-se um site que irá receber os dados enviados pelo cliente. Este site foi desenvolvido em HTML e PHP, tendo ligação com uma base de dados.

A base de dados foi desenvolvida em linguagem SQL (*Structured Query Language*), utilizando um sistema de manutenção de base de dados, designado *MySQL*.

O site que recebe os dados processa a informação e guarda-a na base de dados.

Criou-se uma tabela com os vários parâmetros necessários, os quais podem ser observados na Figura 4.7. A esta tabela deu-se o nome de “dados”, que é puramente arbitrário.

Esta tabela foi desenvolvida utilizando como parâmetro organizador a data. Para este campo utilizou-se o sistema *Posix Time,* que refere o número de segundos desde 1 de Janeiro de 1970 para se situar numa data actual.

```
mysql> describe dados;
+--------------+-------------+------+-----+---------+-------+
| Field        | Type        | Null | Key | Default | Extra |
+--------------+-------------+------+-----+---------+-------+
| data_entrada | int(11)     | YES  |     | NULL    |       |
| coordlong    | varchar(15) | YES  |     | NULL    |       |
| coordlat     | varchar(15) | YES  |     | NULL    |       |
| co2          | float       | YES  |     | NULL    |       |
| co           | float       | YES  |     | NULL    |       |
| so2          | float       | YES  |     | NULL    |       |
| no2          | float       | YES  |     | NULL    |       |
| o3           | float       | YES  |     | NULL    |       |
| temp         | float       | YES  |     | NULL    |       |
+--------------+-------------+------+-----+---------+-------+
9 rows in set (0.41 sec)
```

Figura 4.7 – Descrição da tabela "dados" utilizada no presente projecto.

Para a inserção ou consulta de dados é necessário criar uma ligação com a base de dados. Esta ligação pode ser executada com alguns comandos específicos, como se pode observar na Figura 4.8. Na Figura 4.9 observa-se um exemplo de introdução de dados.

```
require($_SERVER["DOCUMENT_ROOT"]."/config/db_config.php");
```

Figura 4.8 – Exemplo de ligação da página de internet à base de dados

Figura 4.9 – Exemplo de inserção de dados na base de dados

4.2.3. Visualização dos Dados

Para a visualização dos dados criou-se uma página na Internet. Nesta página pode-se observar não só as medições efectuadas, como também dados sobre a estação móvel e uma pequena exposição dos índices da qualidade do ar.

Para visualizar as medições efectuadas há a possibilidade de escolher uma data e o gás que se deseja analisar, como representado na Figura 4.10.

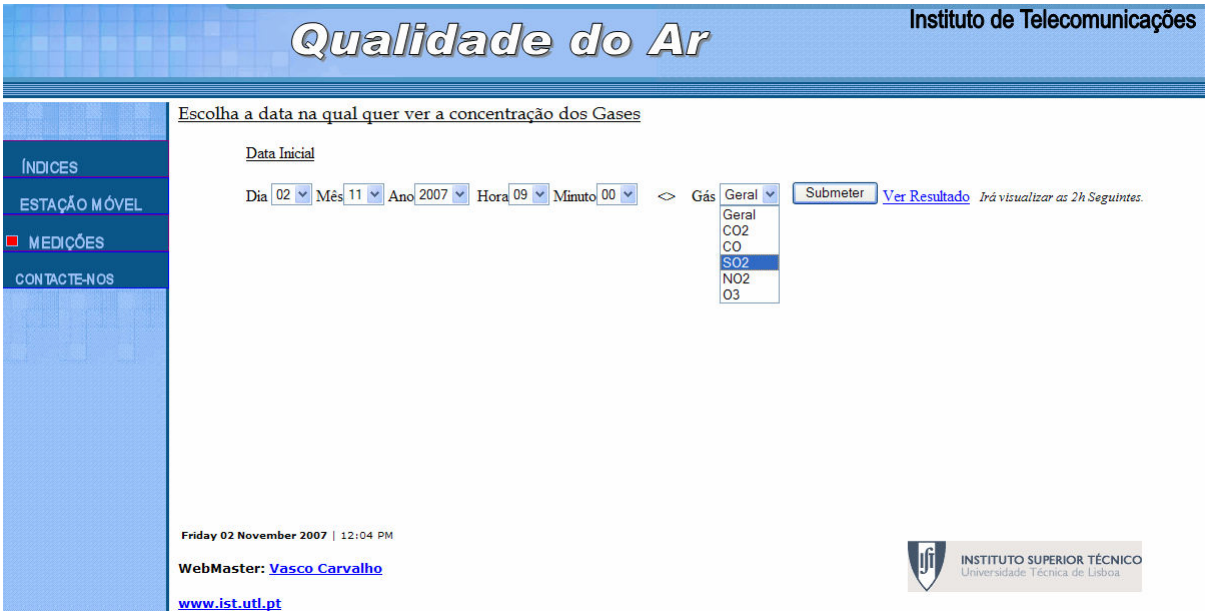


Figura 4.10 – Excerto do site desenvolvido para o projecto

Fazendo esta escolha, ser-lhe-á apresentado um mapa sobre o qual serão sobrepostos pontos representativos de cada uma das amostras recolhidas. Estes pontos têm diferentes cores consoante a qualidade do ar. As relações entre as diferentes cores e concentrações dos gases podem ser observadas na Tabela 2.3.

Utilizaram-se os mapas da Google Maps e algumas aplicações desenvolvidas também pela Google. Esta empresa disponibiliza interfaces designadas de *APIs* (*Application Programming Interface*), com código pronto a ser inserido numa página HTML.

Na Figura 4.11 pode-se observar um exemplo de um mapa com os vários pontos das várias amostras recolhidas.

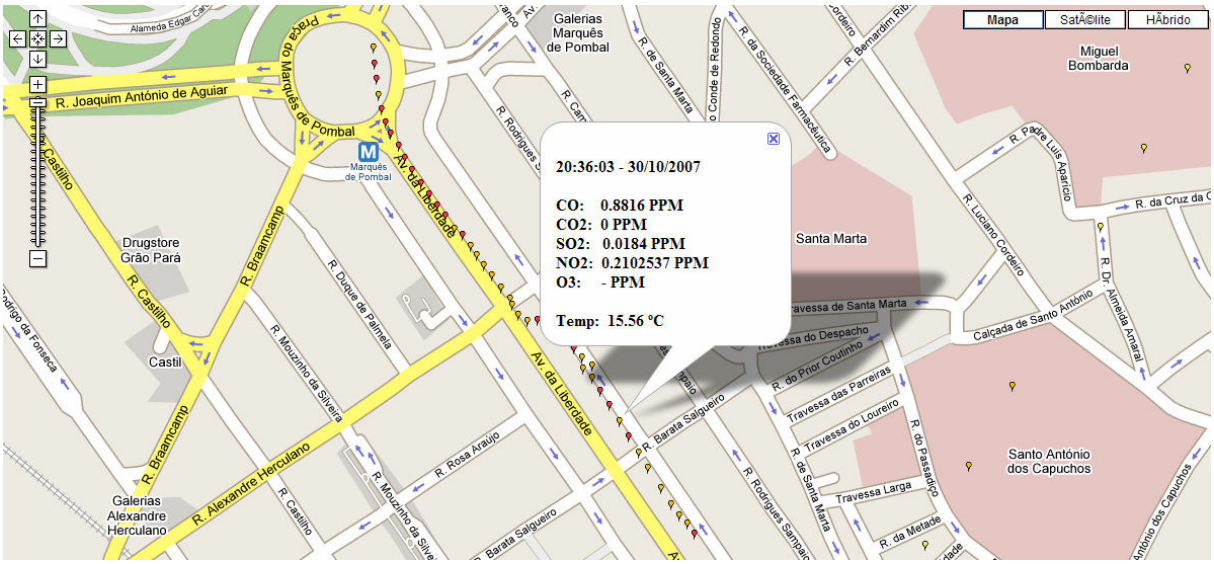


Figura 4.11 – Excerto da página da Internet, com as várias amostras e sua localização

Uma vez no mapa, há a possibilidade de fazer zoom sobre a zona que interessar a fim de observar a concentração dos gases de uma zona em específico

5. Ligação dos Componentes

5.1. Fase de teste

Na fase de teste utilizou-se uma base de teste que dispõe de *breadboards* e várias interfaces de LEDs e botões. Utilizar uma breadboard nem sempre é bom devido aos maus contactos e aos níveis de ruído normalmente verificados; contudo é extremamente prático.

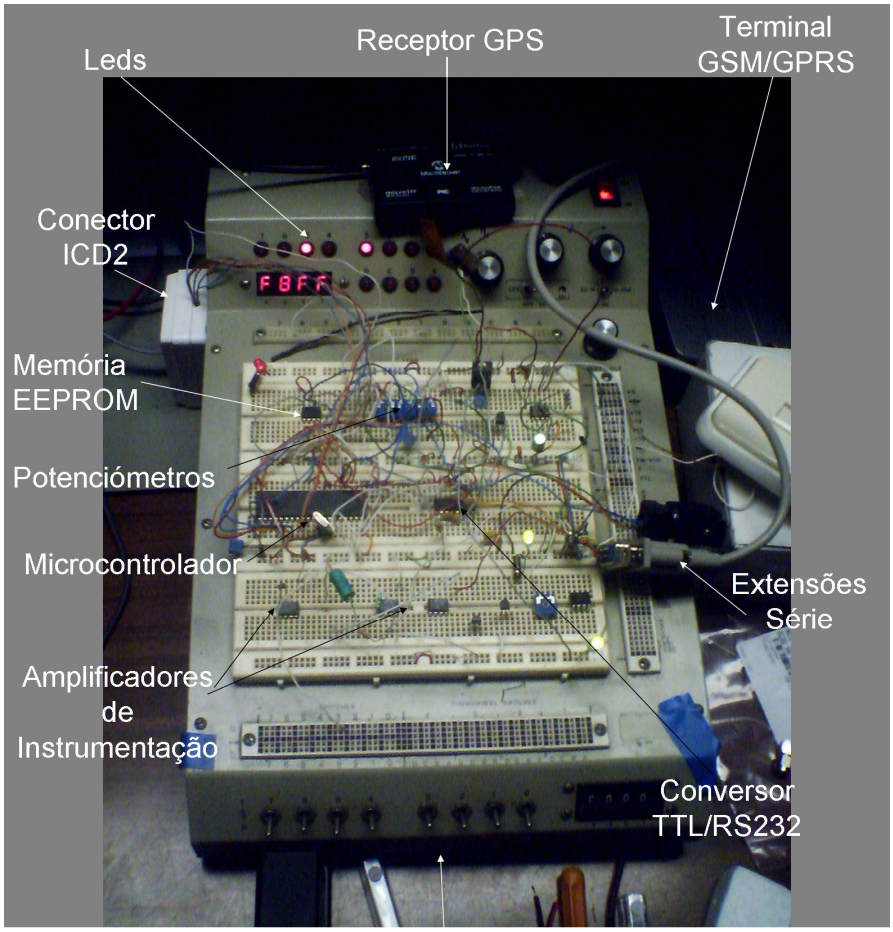


Figura 5.1 – Base de montagem utilizada no desenvolvimento do projecto

Na Figura 5.1 pode-se observar a base de teste utilizada neste projecto, com todos os elementos ligados e em pleno funcionamento. Nesta base, os LEDs foram utilizados para determinar o estado do equipamento, nomeadamente através dos interruptores de alavanca

De todos os componentes observados na Figura 5.1, apenas os potenciómetros e os interruptores não foram utilizados no equipamento final, pois estes serviram apenas para simulação de certos componentes.

Por exemplo, os potenciómetros foram utilizados para simular os sensores durante a fase inicial de desenvolvimento e os interruptores simularam os sensores de movimento.

5.2. Fase final

Uma vez comprovado o funcionamento de todo o sistema na base de teste, desenhou-se a placa de circuito impresso (*PCB,* do acrónimo do inglês *Printed Circuit Board*) com o recurso a ferramentas de CAD (*Computer-Aided Design*) para desenho deste tipo de placas. No caso utilizou-se um software da *PROTEL, Altium Designer*. Esta ferramenta mostrou-se bastante útil, pois o circuito apresenta uma dimensão considerável e o auxílio do *auto-route* (desenho automático das pistas entre pinos) foi fundamental. Uma foto com o layout da placa pode ser visualizada no Anexo IV e V

No desenho da *PCB* tentou-se minimizar ao máximo o espaço, não só para economizar espaço como também do ponto de vista monetário. As empresas que fabricam estas placas definem o preço unicamente pela dimensão da placa. Esta *PCB* foi produzida por uma empresa irlandesa, designadamente a *PCB-POOL*. Uma foto da PCB durante uma etapa de fabricação pode ser visualizada no Anexo VI.

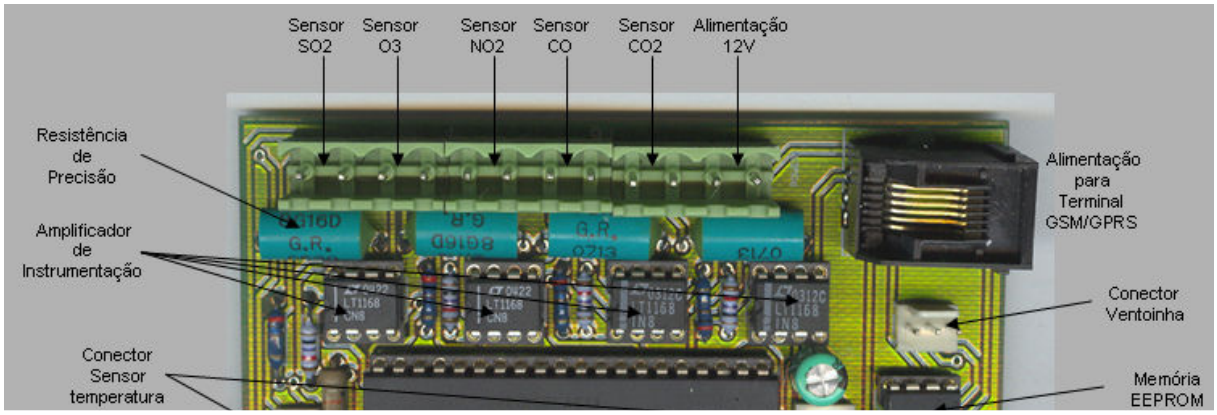


Figura 5.2 – Placa desenvolvida com discriminação dos componentes

Durante o processo de soldadura dos componentes, teve-se o cuidado de se utilizar *sockets* para os circuitos integrados, pois estes podem facilmente serem danificados devido a alguma má ligação ou um curto-circuito indesejado. Outro cuidado tido foi a utilização de conectores de encaixe para facilmente se desmontar todos os dispositivos, caso necessário.

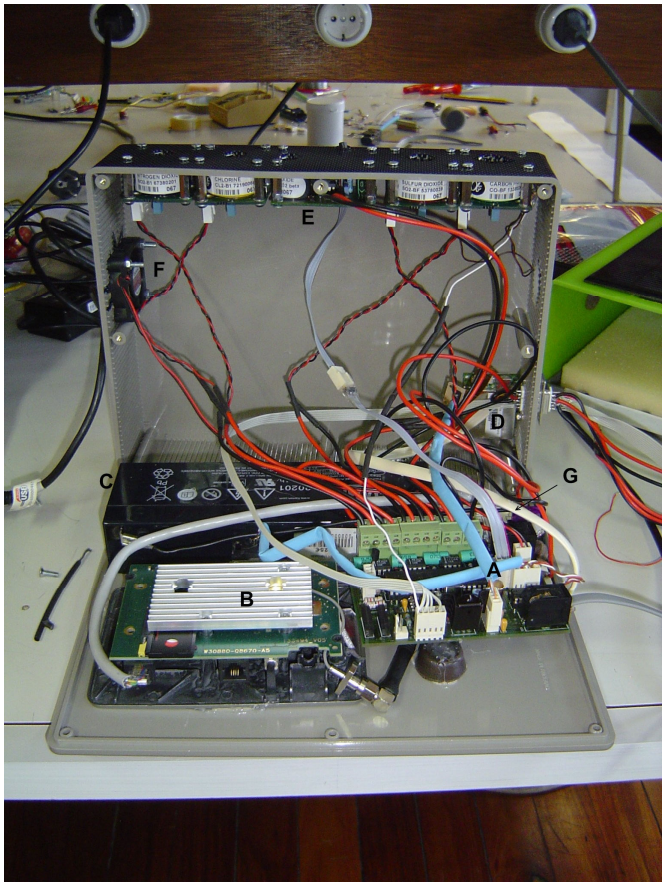


Figura 5.3 – Estação aberta com todos componentes ligados

Na Figura 5.3 pode-se observar a caixa com todos os componentes montados. Na zona A, observa-se a placa desenvolvida e apresentada na Figura 5.2.

A zona B é o modem TC65 que foi retirado da sua caixa por questões de espaço.

A zona C é a bateria de 12 V de 2 Ah.

A Zona D representa o GPS e a zona E os sensores dos diversos gases.

Na zona F, visualiza-se a ventoinha de arrefecimento e finalmente, na zona G, o controlador de carregamento solar, que, nesta figura não é observável por estar coberto pela placa principal.

Na Figura 5.4 pode-se observar em mais pormenor todos os componentes da estação.

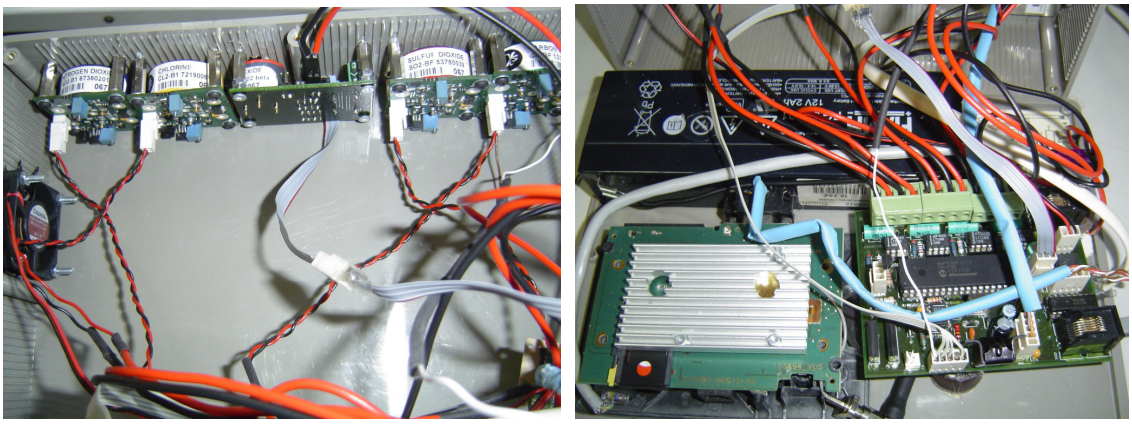
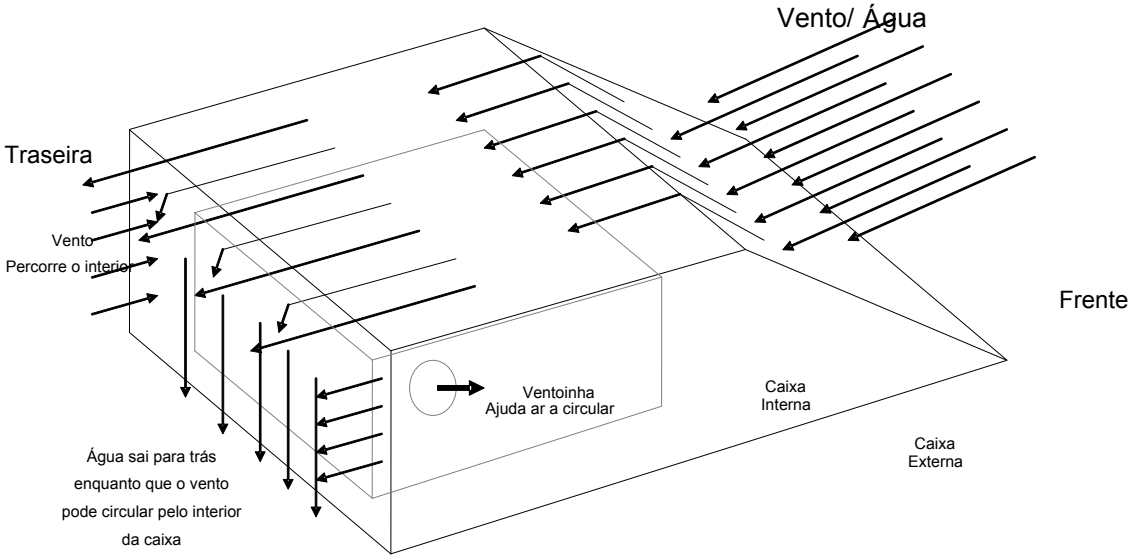


Figura 5.4 – Pormenor de todos os componentes

6. Construção da base de suporte exterior

Todos os módulos utilizados foram embutidos dentro de uma caixa plástica. Contudo, é necessário arejar o interior desta no caso de subida de temperatura. Visto que a estação andará no topo de um veículo, está sujeita a todas as intempéries, como tal, não é viável abrir simplesmente um orifício para entrar ar, pois entraria também água, o que danificaria o equipamento.

Para combater esta dificuldade utilizou-se uma caixa exterior de modo a poder circular o ar, mas não água. Na Figura 6.1 pode-se observar as correntes de ar e a forma como o ar circula no interior da caixa.



De modo a fixar esta caixa no cimo de um veículo, foram utilizados ímanes na parte inferior da caixa, que assim faz aderir a estação ao topo do veículo sem necessidade de suportes ou furações. A disposição dos ímanes pode ser observado na Figura 6.2.

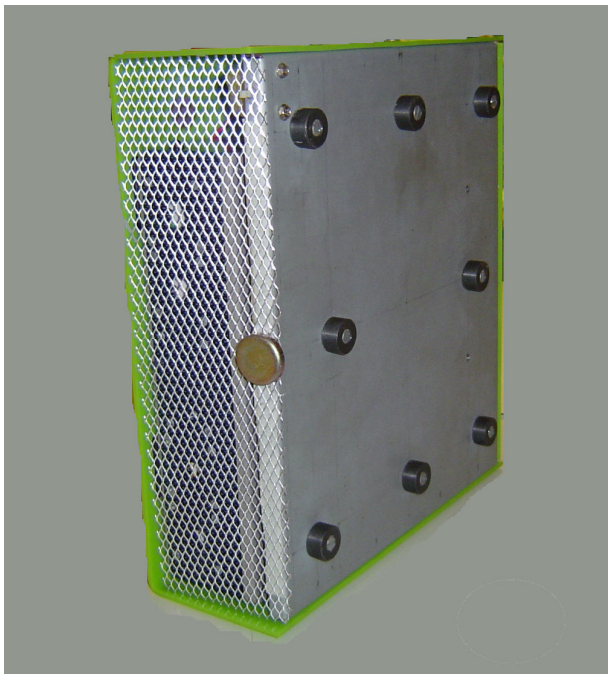


Figura 6.2 – Parte inferior da estação onde se observam os *imanes* de fixação

Não foi possível determinar a força exercida pelos ímanes, pois estes não dispõem de qualquer referência ou *datasheet* de onde se possa retirar essa informação. Contudo, a caixa foi testada num veículo até a uma velocidade de 120 km/h, não se registando qualquer oscilação ou deslocação desta.

Desde que a capota seja de ferro., basta colocar a estação no cimo do automóvel, não necessitando de qualquer ligação ou apoio, tal como ilustra a Figura 6.3.

Figura 6.3 – Exemplo de montagem da estação

7. Consumo de Potência Eléctrica

Para o cálculo do consumo eléctrico da estação utilizaram-se os dados dos fabricantes ou resultados experimentais, consoante o componente em questão.

Apresenta-se, na Tabela 7.1, o consumo discriminado de cada componente, utilizando-se os valores típicos e máximos de cada um.

Tabela 7.1 – Consumo instantâneo discriminado de cada componente

Componente	Consumo de Energia Teórico				
	Tensão	Corrente [mA]		Potência [mW]	
		Típica	Máxima	Típica	Máxima
Microcontrolador[7]	5	22	31	110	155
Receptor GPS	12	33	40	396	480
Relés	5	11	11	55	55
AI (5)	5	2,1	3,25	10,5	15,75
DC-DC	5	3,2	5	16	25
MAX232	5	8	10	40	50
Memória	5	7	10	35	50[8]
Sensores (4)	9	20	24	180	216[9]
Controlador de Carga	12	4	4	48	48
Terminal GSM/GPRS	12	0,5	330	6	2076[10]

Quando a estação está em funcionamento normal todos os dispositivos estão activos, com excepção do terminal GSM/GPRS e da memória.

Quando a estação entra no modo de *standby*, apenas o microcontrolador, o controlador de carga e o conversor DC-DC permanecessem em funcionamento e tudo o resto é desligado.

Estima-se que o terminal de GSM/GPRS irá ligar 8 vezes por dia, durante aproximadamente 1 minuto.

De seguida, realizou-se o cálculo da energia consumida durante um dia de funcionamento e a potência média consumida pela estação. Para estes cálculos supôs-se que a estação irá estar em movimento aproximadamente 15h por dia e as 9h restantes irá estar em *standby*. No modo normal de funcionamento a estação consome 1044,75 mW (consumo instantâneo máximo), e em *standby* consome 174 mW.

[7] Valores determinados por resultados experimentais

[8] Apenas liga quando o microcontrolador guarda dados, ou seja, durante alguns micro-segundos.

[9] Máximo esperado baseado na concentração máxima esperada, pois o valor de corrente é proporcional ao valor de concentração medido.

[10] Apenas liga quando a estação envia dados para o servidor ou seja, depois de o veículo percorrer uma distância de 207*d, onde d é a distância entre amostras. Para um d=200m, o terminal liga de 41km em 41km percorridos.

A energia máxima de consumo ao longo do dia é de:

$$E[Wh] = P_{norm} \cdot 15h + P_{sta} \cdot 9h + P_{GPRS} \cdot (8/60)h$$
$$E[Wh] = 17{,}514\,Wh \quad (7.1)$$

onde, P_{norm} e P_{sta} são, respectivamente, a potência consumida em modo normal de funcionamento e em modo de *standby*. P_{GPRS} é a potência consumida pelo terminal de GSM/GPRS.

Fica-se assim a saber que a estação necessita de 17,514 Wh por dia.

A potência média consumida pela estação pode ser determinada por

$$P = \frac{(1044{,}75 \times 15 + 174 \times 9 + 2076 \times 8/60)}{24}$$
$$P = 729\,mW \quad (7.2)$$

O consumo médio de potência da estação ao longo de um dia, utilizando os valores máximos instantâneos em cada situação, situa-se nos 729 mW.

8. Resultados Experimentais

Na Tabela 8.1 observam-se valores da concentração de cada poluente, obtidos através da estação fixa de Benfica, em Lisboa, mediante o site do Instituto da Qualidade do Ar [9] e os valores obtidos pela estação em estudo.

Estes valores não podem ser directamente comparados com os valores obtidos pela estação em desenvolvimento, pois esta determina valores de concentrações praticamente instantâneas relativamente à média horária ou octo-horária dos valores de concentração de cada poluente naquela obtidos do Instituto da Qualidade do Ar.

Tabela 8.1 – Concentração de cada Poluente na zona de Benfica, Portugal

	CO [PPM]	**O_3 [PPM]**	**NO_2 [PPM]**	**SO_2 [PPM]**
Peso Molecular.	28,01	47,99	46,01	64,06
µg/m3	1757	-	85	9
Dia 28-01-2008				
Estação Benfica (Fixa) [9]	1,5337	0	0,0452	0,0034
Zona de Benfica[11] (38,7563N;9,2034W) (Móvel)	0,99489	0	0,0322	0

O sensor de Dióxido de Carbono à data de finalização do projecto estava danificado, daí não ser possível retirar quaisquer dados.

Os valores obtidos pela estação em desenvolvimento são naturalmente mais baixos, pois a estação do Instituto da Qualidade do Ar é fixa e encontra-se numa zona interior onde há uma grande densidade de tráfego. Os valores apresentados na Tabela 8.1 referentes à estação móvel são valores médios, depois de se ter feito um percurso na zona de Benfica, no Anexo VII apresenta-se os dados do percurso do dia 28 de Janeiro de 2008. Para uma análise com mais detalhe e uma boa localização geográfica, o percurso pode ser analisado no site, utilizando o seguinte endereço: http://acetfcpc11.ist.utl.pt/ms/test.php?h=1201473350&g=Geral ou abrindo a pagina principal (http://acetfcpc11.ist.utl.pt/ms/), escolhendo medições e de seguida inserir o dia 27 de Janeiro de 2008 ás 23:30h. Aí poderá escolher o gás que se pretende analisar em pormenor.

[11] Valores médios obtidos pela estação em desenvolvimento depois de se ter feito um percurso na zona de Benfica.

9. Custo total da Estação

Na Tabela 9.1 estão descriminados todos os gastos na estação.

Tabela 9.1 – Custo discriminado de cada componente

Equipamento	Quantidade	Preço [€]	Observações
dsPIC30F4013	1	3.40	
Siemens TC65	1	195	
GPS Garmin 15H	1	55	
4 – Sensores (CO, SO_2, NO_2,O_3)	4	504	
Sensor CO_2	1	52	
Caixa	1	12	
Tampa Protectora	1	49,5	
PCB	1	96	
Bateria	1	15	
Regulador de Carregamento Solar	1	35	
Diversos (resistências, condensadores, bobinas, díodos, parafusos, cola, conectores)		10	
LT1168 (AI)	4	11.80	
LT1776 (DC-DC)	1	2.54	
24LC1024 (EEPROM)	1	2.13	
EDR101 (relé)	2	4.13	
MS24 (sensor movimento)	1	4.54	
Painel Solar	2	45	
TOTAL		1109.04	

Há a salientar que todos os circuitos integrados, com excepção do MAX232, foram adquiridos como amostras, oferecidas pelos diversos fabricantes (Microchip, Linear Technology, Analog Devices e Maxim).

Será importante realçar que estes preços ficariam substancialmente mais baixos para uma produção em grande quantidade.

10. Limitações e Melhorias

10.1. Limitações

A utilização de dois painéis solares mostrou-se insuficiente para alimentar correctamente a estação nos meses em que há menos horas de sol, como no caso de Dezembro e Janeiro. Será necessário instalar um terceiro painel solar para garantir a energia necessário para o funcionamento da estação.

Uma outra limitação refere-se ao modelo do regulador de carregamento solar. Para diminuir o custo final do projecto, optou-se por um dispositivo de gama baixa que não apresenta protecção contra descarga total da bateria. A substituição deste regulador por um mais apropriado poderá representar uma melhoria.

10.2. Melhorias

Uma possível melhoria será adicionar a possibilidade de substituir o *firmware* remotamente. Uma sugestão seria a concretização de um site onde se iria produzir o ficheiro ".hex" com o novo código a enviar para a estação. Depois disso, numa ligação seguinte da estação com o servidor, este código seria descarregado para o modem que, por sua vez, enviaria por RS232 para o microcontrolador. Foi visto que esta melhoria é bastante acessível, não tendo sido concretizada por limitações temporais.

Uma outra melhoria será adicionar um controlo de alimentação do sistema tendo em conta a tensão da bateria. Nesta versão, o microcontrolador não tem informação do estado da bateria e não pode interromper o processo de aquisição de dados quando a tensão não é suficiente para alimentar os sensores, o GPS e outros dispositivos. Um sistema de controlo capaz de desligar a alimentação quando atingido um determinado valor mínimo de tensão de bateria seria uma solução.

11. Conclusão

Com este trabalho conseguiu-se cumprir o objectivo inicial de produzir um equipamento móvel, de pequenas dimensões e com a mais valia de não necessitar de qualquer ligação física, tanto para transmissão de dados como para a alimentação. Igualmente, a fixação da estação ao veículo por meio de ímanes assegura que não é necessário proceder a qualquer modificação no seu tejadilho.

A união formada pelos módulos de GPS, GPRS e sensores, a utilização de um servidor de dados e a publicação destes dados numa página da Internet leva a que o trabalho se demonstre bastante interessante e útil. Note-se que todo o processo é totalmente automático, dispensando recursos humanos.

Sendo produzido em grandes quantidades, fornece a possibilidade de criar um serviço de baixo custo capaz de medir a qualidade do ar de uma determinada área.

A nível individual, este trabalho foi bastante enriquecedor, pois tomou-se contacto com inúmeras áreas e diversos sistemas electrónicos, sendo um elemento essencial para a inserção na vida profissional.

12. Referências

[1] – Gomes, J., Poluição Atmosférica – Um manual universitário, Edições técnicas, Porto, 2001

[2] – Castro, R., Introdução à energia fotovoltaica, Rui Castro, Maio de 2007

[3] – Delmolino, A.; Delpas, C.; Lefévre, A.; O Homem e o meio ambiente – Enciclopédia de ciências Larousse, Círculo Leitores, 2001

[4] – Visionarium, Odisseia da ciência enciclopédia, multimédia Clima e Ecologia, volume 9, Printer Portuguesa, 2005

[5] – Designing a Potentiostatic Circuit; Alphasense Application Note AAN 105, Abril de 2005

[6] – How Electrical Gas Sensor Work; Alphasense Application Note AAN 104, Abril de 2005

[7] – Environmental Changes: Temperature, Pressure, Humidity; Alphasense Application Note AAN 110, Abril de 2005

[8] – Designing a Potentiostatic Circuit; Alphasense Application Note AAN 105, Abril de 2005

[9] – Instituto da Qualidade do Ambiente
http://www.qualar.org/

[10] – Schlumberger
http://www.seed.slb.com/pt/scictr/watch/climate_change/sources.htm

[11] – STECA, STECA Solsun 5.0/6.6/8.0/8.8

[12] – BP Solar
www.bpsolar.com

[13] – Sistemas de Energias Alternativas
http://www.ffsolar.com/index_pt.html

[14] – Brosset, Dr Michel G. E.; Bodereau, Engª Ghislaine C.; Conhecendo as Baterias, MBT, Nov 97.

[15] – Perspectivas do Meio Ambiente Mundial GEO-3,Universidade Livre da Mata Atântica, 2002

[16] – Microchip,
http://www.microchip.com

[17] – Microchip, 25LC1024 1Mbit SPI Bus Serial EEPROM, Arizona USA, 9 de Outubro de 2007

[18] – Emanuel G.B.C. Martins, Electrónica III, Universidade de Coimbra, Dezembro de 2006

[19] – Alphasense
www.alphasense.com/alphasense_sensor.html

[20] – Cristian Voit, “Air Quality Sensor”, Elektor Electronics, USA, Novembro de 2004

[21] – Converse, Tim; Park, Joyce; Morgan, Clark; PHP5 and MySQL Bible, Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, 2004

[22] – Microchip, MCP9700/9701A Low-Power Linear Active Thermistor, Arizona USA, 10 de Maio de 2007

13. Anexos

Anexo I – Terminal GSM/GPRS – Siemens TC65

TC65 Terminal – Succeed with Java™

The TC65 Terminal with Java™ technology is the missing link between M2M applications and the world of IP-based services involving GSM/GPRS communication. Having the latest version of IMP 2.0 embedded in it, the TC65 Terminal offers a complete software development platform with which to create licence-free, hardware-independent applications. The new standard provides control of M2M applications and enables user-friendly over-the-air software updates (OTA) for reliable e-maintenance and secure data transmission using https and PKI encryption. The variety of industrial interfaces and the plug & play functionality included allow quick and easy implementation. With its extended temperature range as well, it is the perfect stand-alone device for sophisticated M2M solutions. The TC65 Terminal is lead-free, meeting the European requirement on limiting the use of hazardous substances in electrical and electronic devices (RoHS).

Wireless Modules
Benefits and hard facts

General features
- Quad-band: 850/900/1800/1900 MHz
- GSM release 99
- RF Output power:
  - Class 4 ((2 W) for EGSM 850 and 900
  - Class 1 ((1 W) for GSM 1800 and 1900
- AT commands Hayes GSM 07.05 and GSM 07.07
- SIM application toolkit release 99
- Supply voltage range: + 8V ... + 30V DC
- Power save mode
- Dimensions:130 x 90 x 38 mm
- Weight < 190 g
- Ambient temp. range:
  - 30 to +65 °C
  - Automatic switch off at +75 °C
  - Storage temp. range:
  - 40°C ...+ 85°C

Open application platform

Specification for GPRS data transmission
- Multislot class 12
- PBCCH support
- Coding scheme 1 to 4
- Class B mobile station

Specification for CSD data transmission
- Up to 14.4 kbit/s
- V.110
- Non-transparent mode
- USSD support

Specification for fax
- Group 3,class 1

Specification for voice
- GSM-FR, GSM-HR, GSM-EFR and AMR speech codecs supported
- Adaptive multirate AMR
- Basic hands-free operation
- Echo cancellation
- Noise reduction

Specification for SMS

Interfaces
- 24 pin Micro-N-Lok connector
  - I^2C bus and SPI bus
  - 2 x analog in (ADC)
  - 10 GPIOs
  - VDD (2.9 V)
- SMA antenna connector (50Ω)
- 9 pin sub-D connector for serial interfaces with the ITU-T V.24 protocol
- Operating status LED
- ON/OFF button
- SIM card interface 3V, 1.8V
- Plug-in power supply
- Handset audio interface

More about Siemens Wireless Modules at: www.siemens.com/wm

Copyright 2005, Siemens AG
Wireless Modules
Haidenauplatz 1
81667 Munich, Germany

Anexo II – GPS Garmin 15H

Especificações técnicas

1.5 TECHNICAL SPECIFICATIONS

Specifications are subject to change without notice.

1.5.1 Physical Characteristics

1.5.1.1 Size

- GPS 15H & 15L: 1.400" (35.56 mm) wide, 1.805" (45.85 mm) long, 0.327" (8.31 mm) high

1.5.1.2 Weight

- GPS 15H: 0.53 oz. (15.0 g)
- GPS 15L: 0.50 oz. (14.1 g)

1.5.1.3 Available Connector Options

- GPS 15H-F:
  GPS 15L-F: 8-pin LIF connector, 1 millimeter pitch
- GPS 15H-W:
  GPS 15L-W: 8-pin JST connector, 1 millimeter pitch; mating wire harness included (NOTE: available in Asia, or by special order)

1.5.2 Electrical Characteristics

1.5.2.1 Input Voltage

- GPS 15H: 8.0 Vdc to 40 Vdc unregulated
- GPS 15L: 3.3 Vdc to 5.4 Vdc (±100 mV)

1.5.2.2 Input Current

- GPS 15H: 60 mA peak, 50 mA nominal @ 8.0 Vdc
  40 mA peak, 33 mA nominal @ 12 Vdc
  15 mA peak, 12 mA nominal @ 40 Vdc
- GPS 15L: 100 mA peak, 85 mA nominal @ 3.3 to 5.0 Vdc

1.5.2.3 GPS Receiver Sensitivity

- -165 dBW minimum

1.5.3 GPS Performance

1.5.3.1 Receiver

- WAAS enabled; 12 parallel channel GPS receiver continuously tracks and uses up to 12 satellites (up to 11 with PPS active) to compute and update your position.

1.5.3.2 Acquisition Times

- Reacquisition: Less than 2 seconds
- Warm: Approximately 15 seconds (all data known)
- Cold: Approximately 45 seconds (initial position, time and almanac known, ephemeris unknown)
- AutoLocate™: 5 minutes (almanac known, initial position and time unknown)
- SkySearch: 5 minutes (no data known)

1.5.3.3 Update Rate

- 1 second default; NMEA 0183 output interval configurable from 1 to 900 seconds in one-second increments

1.5.3.4 Accuracy

- GPS Standard Positioning Service (SPS)
  Position: < 15 meters, 95% typical (100 meters with Selective Availability on)
  Velocity: 0.1 knot RMS steady state
- DGPS (USCG/RTCM)
  Position: 3-5 meters, 95% typical
  Velocity: 0.1 knot RMS steady state
- DGPS (WAAS)
  Position: < 3 meters, 95% typical
  Velocity: 0.1 knot RMS steady state

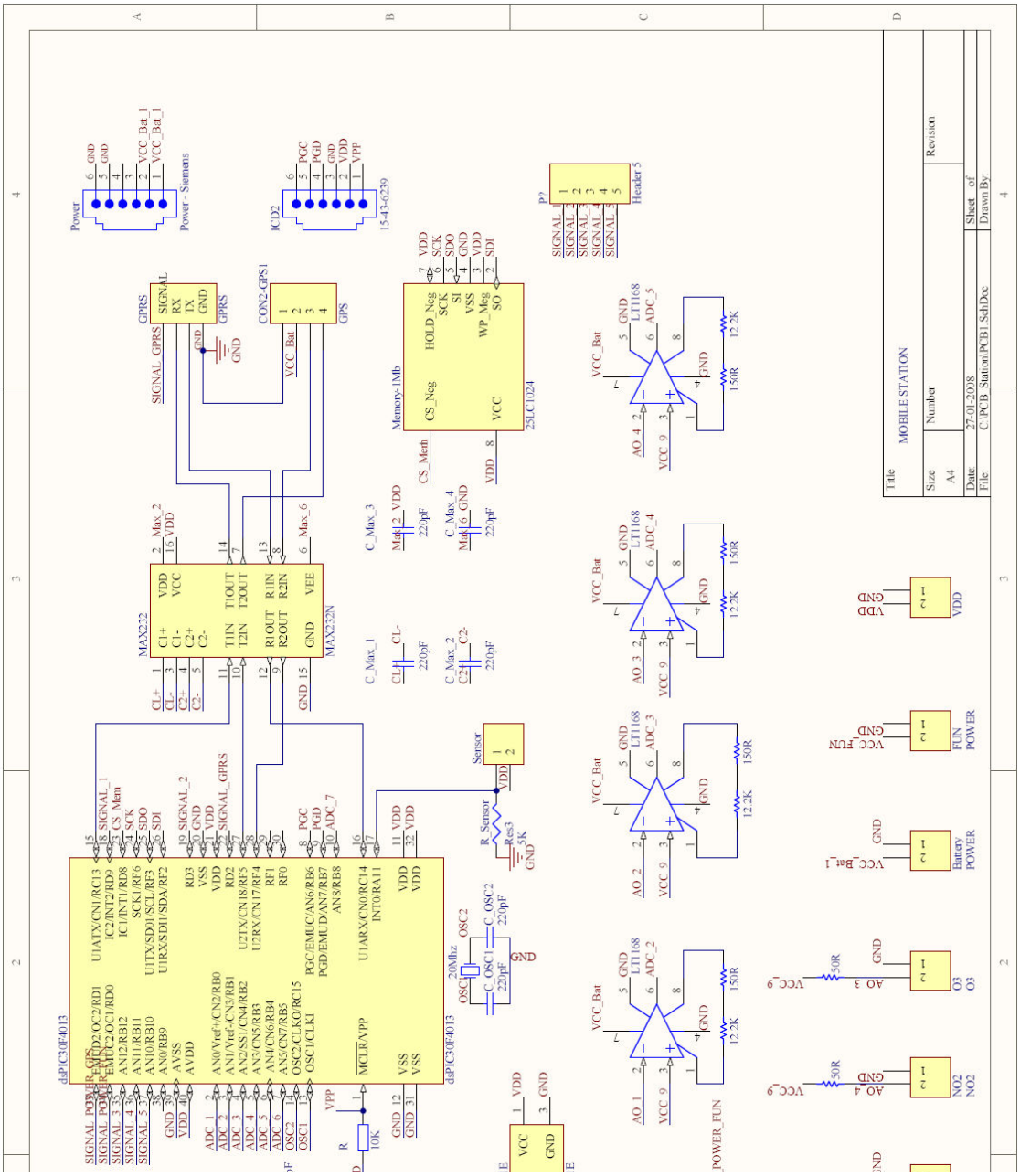
- PPS Time ±1 microsecond at rising edge of PPS pulse (subject to Selective Availability)
- Dynamics: 999 knots velocity (only limited at altitude greater than 60,000 feet), 6g dynamics

1.5.4 Interfaces

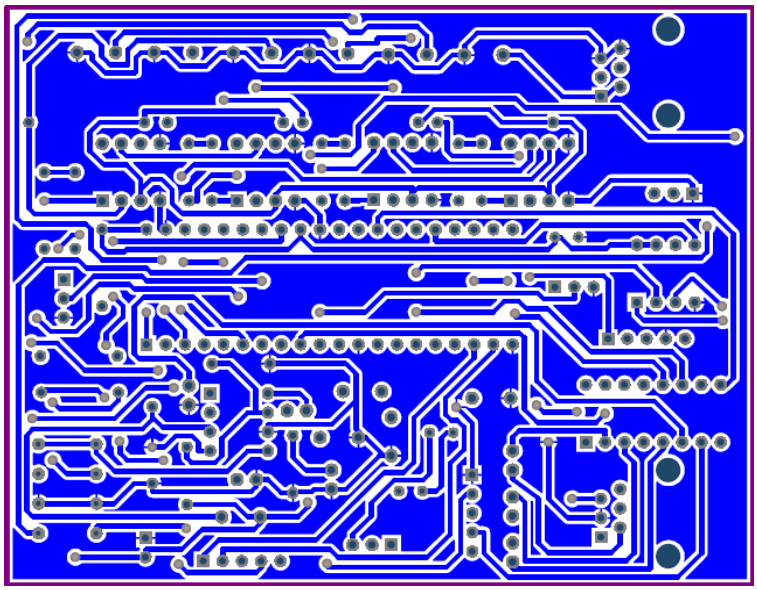
1.5.4.1 Electrical Characteristics

- True RS-232 output (Port 2 output not used at time of publication), asynchronous serial input compatible with RS-232 or TTL voltage levels, RS-232 polarity.
- User selectable NMEA 0183 baud rate (300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400)

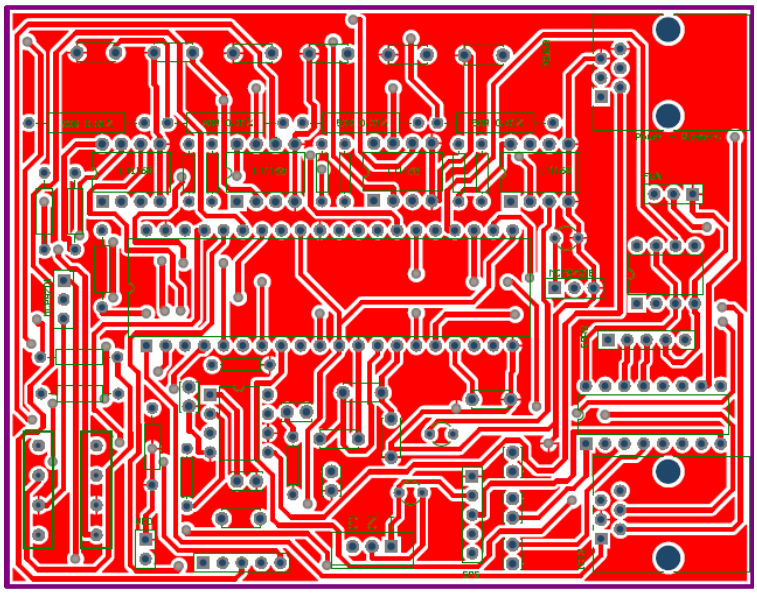
Anexo III – Esquema da placa de circuito impresso desenvolvida



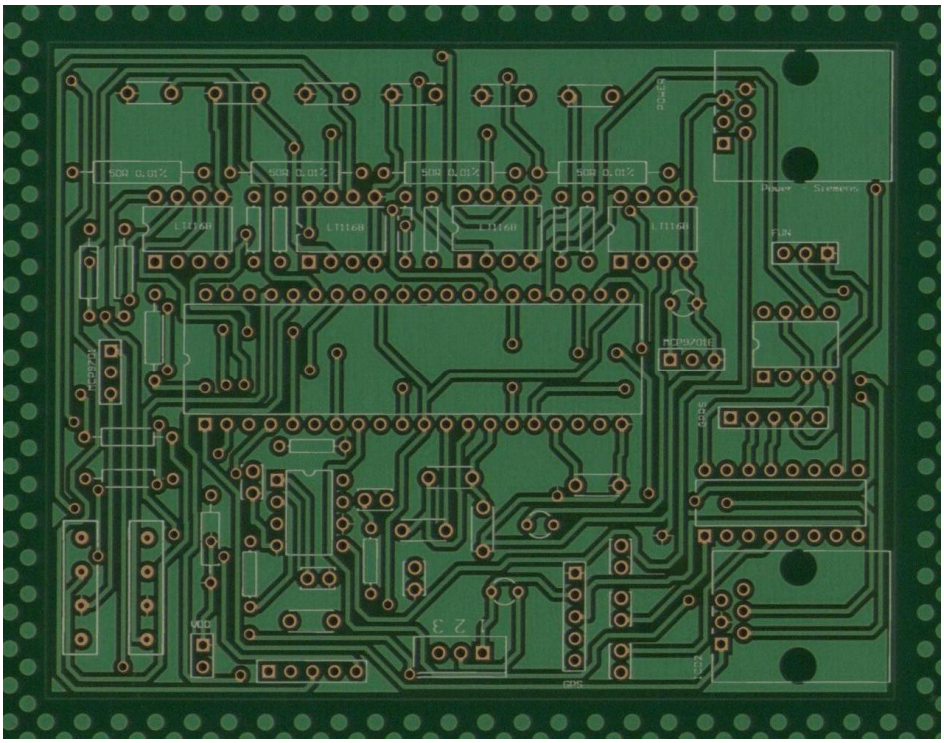
Anexo IV – *Layout* da placa de circuito impresso desenvolvida, Bottom Layer



Anexo V – *Layout* da placa de circuito impresso desenvolvida, Top Layer



Anexo VI – *Placa de Circuito Impresso em fase de construção*



Anexo VII – Resultados Experimentais, percurso em Benfica

Longitude	Latitude	CO [PPM]	CO2 [PPM]	SO2 [PPM]	NO2 [PPM]	O3 [PPM]	Temperatura[ºC]
38,752748	9,206957	2,3836	360	0,0000	0,0122	0,0000	14,0700
38,752940	9,206898	2,3850	360	0,0000	0,0022	0,0000	14,1900
38,753050	9,206867	2,4082	360	0,0000	0,0000	0,0000	14,0700
38,753287	9,206797	2,1881	360	0,0000	0,0097	0,0000	14,1900
38,753390	9,206768	2,0626	360	0,0000	0,0000	0,0000	13,9500
38,753570	9,206710	2,0650	360	0,0000	0,0097	0,0000	14,1900
38,753705	9,206678	2,0157	360	0,0000	0,0000	0,0000	14,1800
38,753603	9,206743	1,8684	360	0,0000	0,0072	0,0000	14,2200
38,752402	9,206792	1,6903	360	0,0000	0,0122	0,0000	13,5200
38,752407	9,206645	1,7603	360	0,0000	0,0097	0,0000	13,1100
38,752368	9,206503	1,5663	360	0,0000	0,0000	0,0000	13,3500
38,752335	9,206365	1,8591	360	0,0000	0,0097	0,0000	13,2000
38,752303	9,206225	1,5413	360	0,0000	0,0122	0,0000	13,2800
38,752270	9,206078	1,5875	360	0,0000	0,0000	0,0000	12,9300
38,752232	9,205942	1,6370	360	0,0000	0,0072	0,0000	13,0000
38,752188	9,205815	1,7579	360	0,0000	0,0072	0,0000	12,8400
38,752068	9,205858	1,7085	360	0,0000	0,0097	0,0000	12,7800
38,751948	9,205920	1,8054	360	0,0000	0,0121	0,0000	12,6800
38,751823	9,205985	1,7332	360	0,0000	0,0171	0,0000	12,8100
38,751720	9,206015	1,5105	360	0,0000	0,0196	0,0000	12,4500
38,751640	9,205922	1,7824	360	0,0000	0,0295	0,0000	12,8400
38,751573	9,205820	1,6096	360	0,0000	0,0196	0,0000	12,6400
38,751535	9,205652	1,5849	360	0,0000	0,0196	0,0000	12,6000
38,751445	9,205438	1,4636	360	0,0000	0,0221	0,0000	12,7100
38,751407	9,205330	1,6346	360	0,0000	0,0097	0,0000	12,7000
38,751365	9,205223	1,5857	360	0,0000	0,0097	0,0000	12,7000
38,751325	9,205117	1,6821	360	0,0000	0,0221	0,0000	12,5400
38,751240	9,204905	1,7291	360	0,0000	0,0072	0,0000	12,3300
38,751198	9,204798	1,6302	360	0,0000	0,0171	0,0000	12,1700
38,751158	9,204692	1,7074	360	0,0000	0,0171	0,0000	12,6500
38,751120	9,204588	1,5835	360	0,0000	0,0121	0,0000	12,4200
38,751047	9,204383	1,4625	360	0,0000	0,0097	0,0000	12,5600
38,751010	9,204283	1,5847	360	0,0000	0,0072	0,0000	12,5700
38,750972	9,204182	1,5337	360	0,0000	0,0146	0,0000	12,3000
38,750897	9,203982	1,5985	360	0,0000	0,0172	0,0000	14,3400
38,750862	9,203878	1,5120	360	0,0000	0,0097	0,0000	12,6500
38,750822	9,203777	1,6822	360	0,0000	0,0146	0,0000	12,5500
38,750785	9,203677	1,5577	360	0,0000	0,0171	0,0000	12,2400
38,750710	9,203472	1,4355	360	0,0000	0,0220	0,0000	12,2000
38,750672	9,203370	1,4373	360	0,0000	0,0220	0,0000	12,4500
38,750635	9,203268	1,3648	360	0,0000	0,0121	0,0000	12,5600
38,750597	9,203167	1,4373	360	0,0000	0,0146	0,0000	12,4500
38,750545	9,203025	1,3159	360	0,0000	0,0072	0,0000	12,5400
38,750502	9,202895	1,2423	360	0,0000	0,0072	0,0000	12,4900
38,750463	9,202770	1,2438	360	0,0000	0,0121	0,0000	12,7300
38,750423	9,202643	1,1941	360	0,0000	0,0171	0,0000	12,5900

38,750413	9,201383	1,1692	360	0,0000	0,0295	0,0000	12,5000
38,750368	9,201202	1,0451	360	0,0000	0,0319	0,0000	12,1100
38,750355	9,201093	0,9735	360	0,0000	0,0146	0,0000	12,4100
38,750325	9,200890	0,9722	360	0,0000	0,0270	0,0000	12,1600
38,750353	9,200777	0,8498	360	0,0000	0,0121	0,0000	12,0100
38,750372	9,200667	0,8502	360	0,0000	0,0245	0,0000	12,1100
38,750388	9,200558	0,8018	360	0,0000	0,0220	0,0000	12,2000
38,750403	9,200345	0,8019	360	0,0000	0,0393	0,0000	12,2100
38,750422	9,200233	0,7773	360	0,0000	0,0294	0,0000	12,1700
38,750432	9,200125	0,8017	360	0,0000	0,0245	0,0000	12,1700
38,750442	9,200017	0,6554	360	0,0000	0,0245	0,0000	12,1300
38,750460	9,199800	0,8270	360	0,0000	0,0369	0,0000	12,4000
38,750470	9,199692	1,1176	360	0,0000	0,0319	0,0000	12,0100
38,750478	9,199583	0,8012	360	0,0000	0,0220	0,0000	12,0500
38,750488	9,199475	0,8020	360	0,0000	0,0245	0,0000	12,2300
38,750507	9,199258	0,8021	360	0,0000	0,0270	0,0000	12,2600
38,750525	9,199148	1,0195	360	0,0000	0,0096	0,0000	11,8800
38,750543	9,199037	0,7288	360	0,0000	0,0270	0,0000	12,2300
38,750575	9,198812	0,7879	360	0,0000	0,0422	0,0000	14,9000
38,750575	9,198700	0,5579	360	0,0000	0,0270	0,0000	12,1300
38,750582	9,198588	0,7045	360	0,0000	0,0245	0,0000	12,2400
38,750587	9,198478	0,7287	360	0,0000	0,0344	0,0000	12,2000
38,750592	9,198258	0,6796	360	0,0000	0,0220	0,0000	12,1000
38,750568	9,198158	0,5829	360	0,0000	0,0344	0,0000	12,3300
38,750558	9,198055	0,7528	360	0,0000	0,0319	0,0000	12,1200
38,750528	9,197878	0,6560	360	0,0000	0,0220	0,0000	12,3200
38,750503	9,197713	0,5585	360	0,0000	0,0319	0,0000	12,3200
38,750480	9,197590	0,6073	360	0,0000	0,0245	0,0000	12,3300
38,750565	9,197660	0,7310	360	0,0000	0,0246	0,0000	12,8300
38,750660	9,197705	0,8049	360	0,0000	0,0568	0,0000	12,9600
38,750677	9,197587	1,1960	360	0,0000	0,0171	0,0000	12,9000
38,750657	9,197457	1,2191	360	0,0000	0,0245	0,0000	12,6900
38,750610	9,197253	1,0229	360	0,0000	0,0221	0,0000	12,5300
38,750593	9,197187	1,0236	360	0,0000	0,0270	0,0000	12,6700
38,750557	9,197042	1,0478	360	0,0000	0,0270	0,0000	12,6300
38,750522	9,196898	0,9495	360	0,0000	0,0344	0,0000	12,5000
38,750463	9,196668	0,9989	360	0,0000	0,0444	0,0000	12,6200
38,750443	9,196588	1,1700	360	0,0000	0,0270	0,0000	12,6500
38,750402	9,196423	0,9984	360	0,0000	0,0369	0,0000	12,5100
38,750358	9,196253	1,1681	360	0,0000	0,0245	0,0000	12,3200
38,750285	9,195968	0,8743	360	0,0000	0,0319	0,0000	12,0600
38,750262	9,195872	0,9235	360	0,0000	0,0270	0,0000	12,1600
38,750205	9,195672	0,9475	360	0,0000	0,0393	0,0000	12,0800
38,750185	9,195570	0,8500	360	0,0000	0,0245	0,0000	12,0700
38,750140	9,195367	1,0450	360	0,0000	0,0369	0,0000	12,1000
38,750113	9,195267	1,0203	360	0,0000	0,0344	0,0000	12,0300
38,750085	9,195170	1,0684	360	0,0000	0,0245	0,0000	11,9100
38,750060	9,195070	0,9952	360	0,0000	0,0368	0,0000	11,8800
38,750012	9,194865	0,9216	360	0,0000	0,0220	0,0000	11,7600

38,749787	9,193817	1,0188	360	0,0000	0,0294	0,0000	11,7400
38,749763	9,193712	1,0441	360	0,0000	0,0368	0,0000	11,9200
38,749743	9,193610	0,9954	360	0,0000	0,0418	0,0000	11,9200
38,749700	9,193403	0,8980	360	0,0000	0,0344	0,0000	11,9200
38,749680	9,193298	1,0195	360	0,0000	0,0294	0,0000	11,8800
38,749658	9,193197	0,9708	360	0,0000	0,0393	0,0000	11,8600
38,749637	9,193095	0,9222	360	0,0000	0,0492	0,0000	11,8800
38,749600	9,192897	0,8004	360	0,0000	0,0442	0,0000	11,8400
38,749557	9,192720	0,8733	360	0,0000	0,0245	0,0000	11,8200
38,749452	9,192605	0,9946	360	0,0000	0,0269	0,0000	11,7700
38,749335	9,192540	0,9460	360	0,0000	0,0343	0,0000	11,7800
38,749102	9,192595	0,8980	360	0,0000	0,0368	0,0000	11,9100
38,749003	9,192623	0,8488	360	0,0000	0,0516	0,0000	11,7900
38,748797	9,192668	0,9703	360	0,0000	0,0368	0,0000	11,7600
38,748685	9,192663	0,8480	360	0,0000	0,0516	0,0000	11,6100
38,748483	9,192567	0,6775	360	0,0000	0,0491	0,0000	11,4700
38,748407	9,192483	0,7264	360	0,0000	0,0491	0,0000	11,5800
38,748355	9,192387	0,7263	360	0,0000	0,0491	0,0000	11,5400
38,748335	9,192273	0,6772	360	0,0000	0,0417	0,0000	11,3900
38,748318	9,192045	0,7496	360	0,0000	0,0392	0,0000	11,2900
38,748288	9,191930	0,6530	360	0,0000	0,0343	0,0000	11,4100
38,748243	9,191815	0,6769	360	0,0000	0,0466	0,0000	11,3000
38,748198	9,191702	0,5072	360	0,0000	0,0368	0,0000	11,3400
38,748117	9,191500	0,4583	360	0,0000	0,0343	0,0000	11,2000
38,748103	9,191317	0,4338	360	0,0000	0,0417	0,0000	11,1000
38,748172	9,191162	0,5313	360	0,0000	0,0491	0,0000	11,3100
38,748325	9,191125	0,5070	360	0,0000	0,0392	0,0000	11,2800
38,748485	9,191097	0,4831	360	0,0000	0,0417	0,0000	11,4400
38,748638	9,191095	0,5800	360	0,0000	0,0466	0,0000	11,3600
38,748793	9,191075	0,6772	360	0,0000	0,0466	0,0000	11,4000
38,748928	9,191077	0,4833	360	0,0000	0,0467	0,0000	11,5100
38,749057	9,191070	0,5564	360	0,0000	0,0442	0,0000	11,6000
38,749157	9,191067	0,5562	360	0,0000	0,0491	0,0000	11,5300
38,749307	9,191052	0,5324	360	0,0000	0,0714	0,0000	11,7000
38,749457	9,191038	0,8243	360	0,0000	0,0591	0,0000	11,7500
38,749607	9,191023	0,7759	360	0,0000	0,0615	0,0000	11,7900
38,749757	9,191008	0,8251	360	0,0000	0,0418	0,0000	11,9300
38,748693	9,191277	0,8495	360	0,0000	0,0467	0,0000	11,9600
38,749070	9,191353	1,0192	360	0,0000	0,0615	0,0000	11,8100
38,749125	9,191267	0,8987	360	0,0000	0,0591	0,0000	12,0700
38,748965	9,191178	0,9718	360	0,0000	0,0591	0,0000	12,0800
38,749155	9,191325	0,8256	360	0,0000	0,0492	0,0000	12,0600
38,749200	9,191498	0,8252	360	0,0000	0,0467	0,0000	11,9700
38,749225	9,191680	0,8008	360	0,0000	0,0418	0,0000	11,9400
38,749273	9,191857	0,8982	360	0,0000	0,0418	0,0000	11,9600
38,749337	9,192157	0,7888	360	0,0000	0,0397	0,0000	15,1600
38,749353	9,192258	0,8746	360	0,0000	0,0517	0,0000	12,1100
38,749373	9,192363	0,9225	360	0,0000	0,0368	0,0000	11,9500
38,749397	9,192477	0,9717	360	0,0000	0,0467	0,0000	12,0400
38,749447	9,192700	0,8007	360	0,0000	0,0418	0,0000	11,9100
38,750562	9,200688	0,3868	360	0,0000	0,0294	0,0000	11,8500

38,750818	9,201700	0,5085	360	0,0000	0,0195	0,0000	11,8400
38,750875	9,201870	0,4841	360	0,0000	0,0220	0,0000	11,8100
38,750932	9,202043	0,4599	360	0,0000	0,0220	0,0000	11,9000
38,750990	9,202220	0,3627	360	0,0000	0,0245	0,0000	11,9300
38,751048	9,202395	0,6302	360	0,0000	0,0269	0,0000	11,8700
38,751113	9,202568	0,5819	360	0,0000	0,0245	0,0000	11,9900
38,751172	9,202747	0,4356	360	0,0000	0,0294	0,0000	11,9100
38,751235	9,202925	0,5087	360	0,0000	0,0344	0,0000	11,9400
38,751298	9,203110	0,5573	360	0,0000	0,0344	0,0000	11,9200
38,751328	9,203205	0,5083	360	0,0000	0,0269	0,0000	11,7900
38,751397	9,203395	0,5326	360	0,0000	0,0319	0,0000	11,7600
38,751432	9,203493	0,6056	360	0,0000	0,0393	0,0000	11,7900
38,751455	9,203597	0,3868	360	0,0000	0,0442	0,0000	11,8400
38,751508	9,203802	0,4597	360	0,0000	0,0665	0,0000	11,8000
38,751538	9,203902	0,4109	360	0,0000	0,0665	0,0000	11,7300
38,751585	9,203998	0,6545	360	0,0000	0,0690	0,0000	11,8600
38,751628	9,204093	0,5324	360	0,0000	0,0615	0,0000	11,7000
38,751698	9,204257	0,6785	360	0,0000	0,0838	0,0000	11,7600
38,751755	9,204390	0,6297	360	0,0000	0,0862	0,0000	11,7200
38,751822	9,204555	0,8002	360	0,0000	0,0764	0,0000	11,7900
38,751908	9,204737	0,8971	360	0,0000	0,0689	0,0000	11,7100
38,752003	9,204930	0,9214	360	0,0000	0,0541	0,0000	11,7200
38,752045	9,205032	0,7756	360	0,0000	0,0467	0,0000	11,7200
38,752088	9,205130	0,8732	360	0,0000	0,0517	0,0000	11,8000
38,752125	9,205238	0,9455	360	0,0000	0,0467	0,0000	11,6700
38,752202	9,205447	0,8483	360	0,0000	0,0492	0,0000	11,6800
38,752222	9,205563	0,8489	360	0,0000	0,0541	0,0000	11,8100
38,752257	9,205673	0,9457	360	0,0000	0,0442	0,0000	11,7000
38,752287	9,205785	0,7510	360	0,0000	0,0492	0,0000	11,6600
38,752332	9,206008	0,9454	360	0,0000	0,0541	0,0000	11,6400
38,752348	9,206112	0,7997	360	0,0000	0,0541	0,0000	11,6800
38,752382	9,206263	0,8970	360	0,0000	0,0516	0,0000	11,7000
38,752490	9,206353	0,7509	360	0,0000	0,0343	0,0000	11,6300
38,752635	9,206327	0,8237	360	0,0000	0,0393	0,0000	11,6000
38,752793	9,206267	0,7025	360	0,0000	0,0442	0,0000	11,6900
38,752933	9,206213	0,7511	360	0,0000	0,0467	0,0000	11,6700
38,753048	9,206178	0,7025	360	0,0000	0,0442	0,0000	11,6800
38,753147	9,206283	0,6055	360	0,0000	0,0319	0,0000	11,7600
38,753202	9,206407	0,6289	360	0,0000	0,0442	0,0000	11,4800
38,753303	9,206447	0,7266	360	0,0000	0,0393	0,0000	11,6300
38,753432	9,206422	0,6537	360	0,0000	0,0467	0,0000	11,6100
38,750669	9,199631	0,99489	360	0,00000	0,03205	0,00000	Médias

Valores de concentração do Dióxido de Carbono são apenas teóricos.

Anexo VIII – Resultados Experimentais, percurso em Benfica

Anexo IX – Manual de Instruções